

**Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологічних процесів
та виробництв**

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

з курсу

«Компонентна база радіоелектронної апаратури»

Методичні вказівки

Одеса 2014

Лабораторний практикум з курсу «Компонентна база радіоелектронної апаратури»: метод. вказівки / О.М. Воробйова, І.П. Панфілов, М.П. Савицька, Ю.В. Флейта. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2014. – 76 с.

РОЗГЛЯНУТО

на засіданні кафедри КІТП і В
й рекомендовано до друку.
Протокол № від 2013.

ЗАТВЕРДЖЕНО

радою навчально-наукового
інституту радіо, телебачення,
електроніки.
Протокол № від 2013.

ВСТУП

Лабораторні роботи виконуються протягом двох навчальних модулів.
Крім цього передбачено виконання факультативних робіт.

ЗМІСТ НАВЧАЛЬНИХ МОДУЛІВ

Перелік лабораторних робіт модуля 1

№	Тема	Кількість годин
1	Дослідження резистивних поділювачів та регуляторів напруги	2
2	Дослідження напівпровідникових діодів	2
3	Дослідження біполярного транзистора	2
4	Дослідження підсилювача на біполярному транзисторі	2
5	Дослідження тиристорів	2

Перелік лабораторних робіт модуля 2

№	Тема	Кількість годин
1	Дослідження диференціальних каскадів	2
2	Дослідження каскадів на операційних підсилювачах	2
3	Дослідження транзисторного ключа	2
4	Дослідження логічних схем	2
5	Дослідження елементів оптоелектронних мікросхем	2

Перелік факультативних лабораторних робіт

№	Тема	Кількість годин
1	Дослідження діодних схем	2
2	Дослідження розветвляючих з'єднань	2
3	Дослідження триелектродної лампи	2

Лабораторна робота № 1.1

Дослідження резистивних подільників та регуляторів напруги

1. Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен уміти:

- 1.1. Скласти схеми резистивних дільників та регуляторів напруги.
- 1.2. Розраховувати дільник напруги на заданий коефіцієнт передавання.
- 1.3. Аналітично та експериментально визначати коефіцієнт передавання дільників та регуляторів напруги.
- 1.4. Аналітично та експериментально визначати допустимий опір навантаження дільника напруги.
- 1.5. Вимірювати межі регулювання вихідної напруги.

2. Ключові положення

Одним із основних призначень дільника є зменшення напруги.

Основним параметром дільника напруги (далі: дільник) є коефіцієнт передавання

$$K = \frac{U_{m \text{ вих}}}{U_{m \text{ вх}}}, \quad (1)$$

який без навантаження (на холостому ході) визначається за формулою:

$$K = \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \quad (2)$$

де R_1 і R_2 – опори резисторів відповідно верхнього та нижнього плечей дільника;

$U_{m \text{ вх}}$ і $U_{m \text{ вих}}$ – амплітуди відповідно вхідної та вихідної напруг.

Вхідний опір дільника напруги складає $R_{\text{вх}} = R_1 + R_2$.

Потужність розсіювання резистора під *постійною* напругою визначається як

$$P_R = U_R I_R = \frac{U_R^2}{R} = I_R^2 R, \quad (3)$$

де U_R – падіння напруги на резисторі R ;

I_R – струм, який протікає через резистор R .

Якщо резистор знаходиться під *змінною* напругою, то для синусоїдальної форми сигналу слід користуватися формулою

$$P = \frac{1}{2} U_{Rm} I_{Rm} = \frac{1}{2} \frac{U_{Rm}^2}{R} = \frac{1}{2} I_{Rm}^2 R, \quad (4)$$

де U_{Rm} – амплітуда напруги на резисторі;

I_{Rm} – амплітуда струму, який протікає через резистор.

Дільник напруги працює на навантаження R_n , яке підмикається паралельно до нижнього плеча R_2 і тому зменшує вихідну напругу $U_{\text{вих}}$. Тоді коефіцієнт передавання дільника з урахуванням опору навантаження R_n буде дорівнювати

$$K = \frac{R_{\text{екв}}}{R_{2\text{екв}} + R}, \quad (5)$$

де $R_{\text{екв}} = \frac{R_{2\text{н}} \times R}{R_{2\text{н}} + R}$ – еквівалентний опір нижнього плеча.

Найпростішим регулятором напруги є дільник напруги, в якому регулюється або верхнє плече, або нижнє, або обидва. Тому всі співвідношення для дільника справедливі і для регулятора напруги.

Схема дослідження дільника напруги наведена на рис. 1.

Тут E – джерело вхідного сигналу;

Осц U_c і Осц $U_{\text{вих}}$ – осцилографи;

K – ключ, за допомогою якого підмикається навантаження $R_{\text{н}}$.

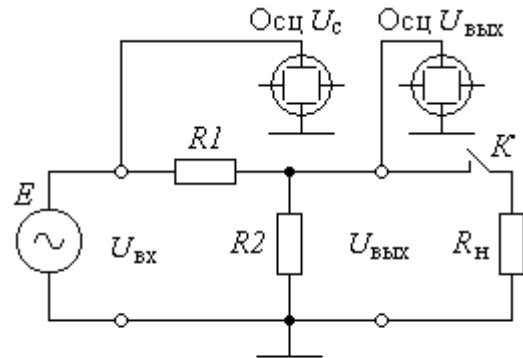


Рис. 1. Схема исследования делителя напряжения

3. Домашнє завдання

3.1. Складіть схему дослідження дільника напруги на холостому ході та під навантаженням.

3.2. Розрахуйте опори плечей дільника напруги для отримання коефіцієнта передавання $K_{\text{розр}} = 0,6$, вибравши значення $R_{\text{вх}} \geq 1$ кОм.

3.3. Для вхідної напруги $U_{\text{твх}} = 30$ В розрахуйте потужності розсіювання на кожному резисторі за формулою (4).

3.4. Зіставте складену схему дослідження зі схемою лабораторного стенда, яка наведена у лабораторному завданні, та знайдіть на стенді всі елементи схеми.

3.5. Підготуйте відповіді на контрольні запитання.

4. Лабораторне завдання

4.1. Налаштуйте лабораторний стенд

4.1.1. Відкрийте файл „№ 1.1. Подільник” (рис. 2).

4.1.2. Увімкніть стенд встановленням курсору на тумблері  та кліком лівої клавіші миші.

4.1.3. Встановіть дані за п. 3.2 і 3.3 наступними діями:

– відкрийте джерело сигналу встановленням курсору на його умовне позначення U_c (рис. 2) та подвійним кліком лівої клавіші миші; при цьому відкриється передня панель (рис. 3);

– у віконці Amplitude встановіть вхідну напругу за п. 3.3;

– у віконці Frequency встановіть частоту 1 kHz;

– встановіть синусоїдальну форму сигналу клавішею .

– закрити передню панель джерела сигналу можна хрестиком .

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДІЛЬНИКА НАПРУГИ

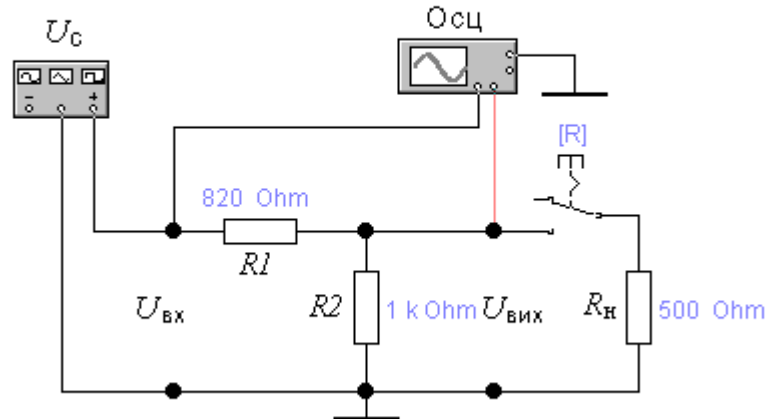


Рис.2. Схема лабораторного стенда

– встановить розраховані опори резисторів R_1 і R_2 встановленням курсору на умовне позначення резистора та подвійним кліком лівої клавіші миші; відкриється панель (рис. 4), на якій слід встановити відповідний опір резистора та підтвердити це клавішею ОК.

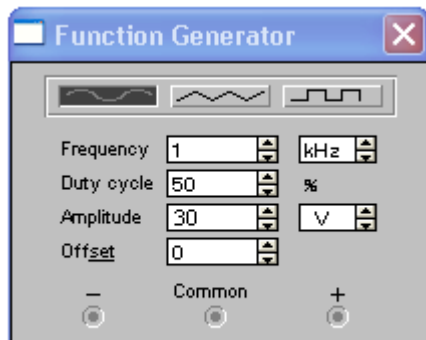


Рис.3

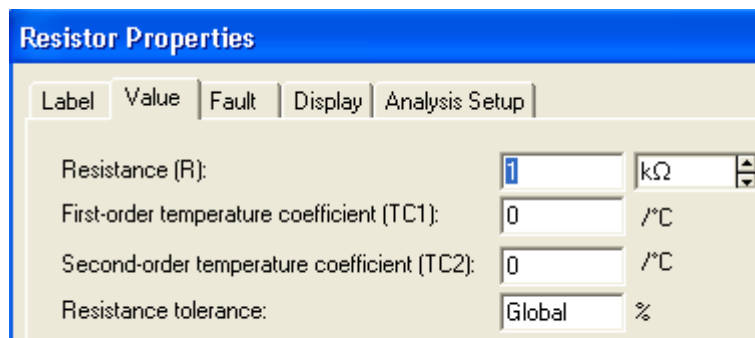


Рис.4

4.2. Дослідіть подільник напруги на холостому ході

4.2.1. Встановіть режим холостого ходу, відключивши опір навантаження R_n клавішею R (див. рис. 2).

4.2.2. Увімкніть схему встановленням курсору на тумблер  та кліком лівої клавіші миші.

4.2.3. Розкрийте осцилограф встановленням курсору на його умовне позначення "Осц" та подвійним кліком лівої клавіші миші. На екрані будуть мигтати два променя: чорний – для вхідної напруги та червоний – для вихідної (рис. 5).

4.2.4. Виміряйте амплітуди вхідної $U_{\text{вх}}$ та вихідної $U_{\text{вих}}$ напруг та наведіть у *масштабі* часову діаграму роботи дільника, розміщуючи епюри *одна* під *однією*, звертаючи увагу на *фазу* сигналів: *зверху* – вхідна напруга, *знизу* – вихідна; розміщення епюр вхідної та вихідної напруг у *різних* стовпчиках або на *різних* сторінках *не допускається*.

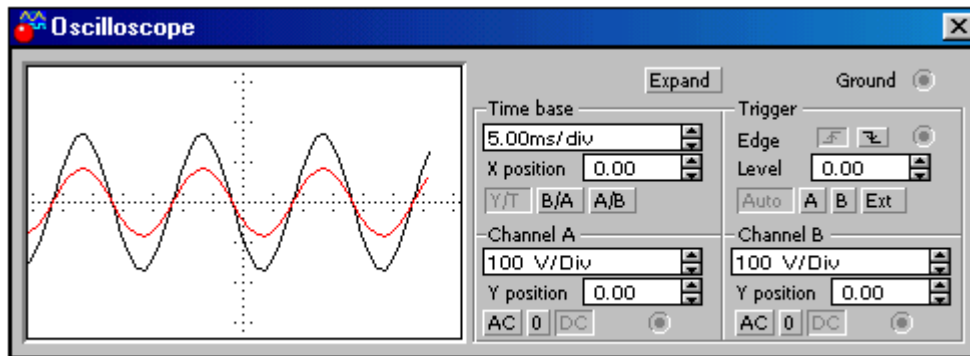


Рис.5

4.2.5. Вимірювання амплітуд за п. 4.2.4 здійснюється наступним чином:

- зупинить зображення клавіш *Pause* (рис. 2);
- збільшить зображення клавіш *Expand*;
- розгорнить зображення на увесь екран горизонтальною прокруткою (рис. 6).

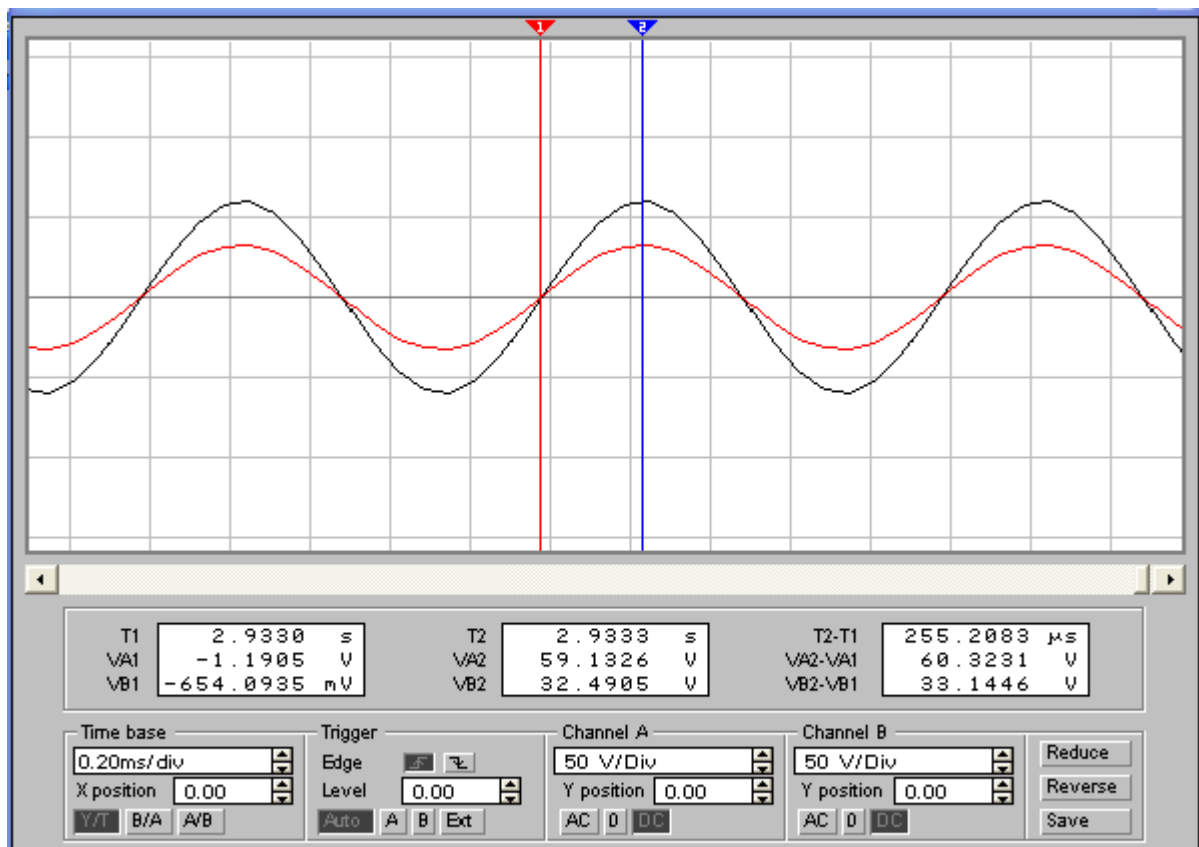


Рис.6

Амплітуди $U_{\text{вх}}$ і $U_{\text{вих}}$ вимірюються на збільшеному екрані осцилографа (рис. 6) встановленням маркерів 1 та 2 відповідно на нульове й амплітудне значення осцилограм.

Відрахувати значення амплітуд можна у середньому віконці:

$$U_{\text{твх}} = VA2; \quad U_{\text{твих}} = VB2.$$

4.2.6. Визначте коефіцієнт передавання (1) та порівняйте його з розрахованим у п. 3.2.

4.2.7. Визначте похибку та зробіть висновки про її причини.

4.2.8. Заповніть табл. 1.

Т а б л и ц я 1

4.2.9. За даними вимірювань п. 4.2.4, визначте коефіцієнт передавання (1) та порівняйте його з розрахованим у п. 3.2.

4.2.10. Визначте похибку вимірювання коефіцієнта передавання

$U_{\text{твх}},$ В	$U_{\text{твих}},$ В	$K_{\text{розр}}$	K	Δ , %

$$\Delta = \frac{K_{\text{розр}} - K}{K} * 100\%$$

Та зробіть висновки про причини її виникнення.

4.3 Дослідіть регулятор напруги

4.3.1. Встановіть розраховані у п. 3.2 опори резисторів R_1 і R_2 (рис. 4).

Т а б л и ц я 2

$R_1,$ кОм	$\frac{R_1}{R_{1\text{ ном}}}$	$U_{\text{т вх}},$ В	$U_{\text{т вих}},$ В
	0.0		
	0.5		
	1.0		
	2.0		

Т а б л и ц я 3

$R_2,$ кОм	$\frac{R_2}{R_{2\text{ ном}}}$	$U_{\text{т вх}},$ В	$U_{\text{т вих}},$ В
	0.0		
	0.5		
	1.0		
	2.0		

4.3.2. Зменшуючи та збільшуючи по чергово опори резисторів R_1 і R_2 та вимірюючи амплітуду вихідної напруги, занесіть дані до табл. 2 й 3.

4.3.3. Зробіть висновки про вплив опорів на вихідну напругу.

4.3.4. Зробіть висновки про межі регулювання $U_{\text{твих}}$ при зміні опорів верхнього або нижнього плечей.

4.4. Дослідіть дільник напруги під навантаженням

4.4.1. Встановіть розраховані у п. 3.2 опори резисторів R_1 і R_2 (рис. 1).

4.4.2. Виміряйте за методикою п. 4.2.5 амплітуду вихідної напруги $U_{\text{твх}}$ на холостому ході та результати вимірювання занесіть до табл. 4.

4.4.3. Підключіть опір навантаження $R_{\text{н}}$ до виходу дільника клавішею R.

4.4.4. Встановіть опір резистора $R_{\text{н}} = 0,5 R_2$.

4.4.5. Виміряйте амплітуду вихідної напруги під навантаженням і результат занесіть до табл. 4.

Т а б л и ц я 4

Режим	$U_{\text{т вих}},$ В
Хол. ход	
Навант.	

4.4.6. Зробіть висновки про вплив опору навантаження на вихідну напругу дільника.

5. Зміст протоколу

5.1. Виконання домашнього завдання

5.1.1. Схема дослідження за п. 3.1.

5.1.2. Розрахунки за п. 3.2 і 3.3.

5.1.3. Форми таблиць 1; 2; 3 і 4.

5.2. Виконання лабораторного завдання

5.2.1. Часова діаграма роботи дільника за п. 4.2.4.

5.2.2. Розрахунки за п. 4.2.6 – 4.2.10.

5.2.3. Висновки за п. 4.2.10.

5.2.4. Таблиці 1; 2; 3 і 4.

5.2.5. Висновки за п. 4.3.3 і 4.3.4

5.2.6. Висновки за п. 4.4.6.

6. Контрольні запитання

6.1. Наведіть схему та поясніть принцип дії резистивного дільника напруги.

6.2. Поясніть вплив опорів плечей дільника на вихідну напругу.

6.3. Поясніть вплив опору навантаження на вихідну напругу дільника.

6.4. Поясніть принцип дії резистивного регулятора напруги.

6.5. Визначте межі регулювання вихідної напруги для різних видів регуляторів.

Рекомендована література

1. Панфилов И.П., Савицкая М.П., Флейта Ю.В. Компонентная база радио-электронной аппаратуры: Учебное пособие, Модуль 1. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2012. – 180 с.

2. Воробьева Е.М., Иванченко В.Д. Основы схемотехники: конспект лекций. Ч.1. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2009/ – С. 28 – 31.

3. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: підручник / О.М. Воробйова, В.Д. Иванченко – [2-е вид.]. – Одеса: Фенікс, 2009. – С. 19 – 31.

4. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: У 2-х частинах: навч. посіб. / О.М. Воробйова, В.Д. Иванченко. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова. 2004. – Частина І. – С. 14 – 18.

Лабораторна робота № 1.2

Дослідження напівпровідникових діодів

1. Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен уміти:

- 1.1. Скласти схеми дослідження напівпровідникових діодів для зняття вольтамперних характеристик (ВАХ).
- 1.2. Знімати та будувати ВАХ напівпровідникових діодів.
- 1.3. Визначати параметри напівпровідникових діодів за характеристиками.

2. Ключові положення

Напівпровідникові діоди (далі: діоди) мають односторонню провідність.

Під *прямою* напругою діод відкритий і його *прямий* струм може бути необмежено великим. Що ж стосується прямої напруги, то чим вона менша, тим вища якість діода. Для ідеального діода з кремнію пряма напруга не перевищує 0,7 В. Пряма напруга реальних діодів може дещо відрізнятись від 0,7 В в обидва боки.

Під *зворотною* напругою діод закритий, його *зворотний* струм настільки малий що, чим він менший, тим вища якість діода. Що стосується зворотної напруги, то вона може бути скільки завгодно великою у межах електричної стійкості діода.

Таким чином, діод пропускає струм практично тільки в одному напрямку. Тому діоди застосовують для перетворення біполярної змінної напруги у однополярну, тобто для випрямлення напруги або струму.

Електричні властивості діода зображаються його ВАХ, яка є залежністю струму діода від напруги на ньому (рис. 1).

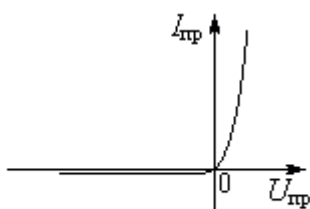


Рис. 1. ВАХ діода

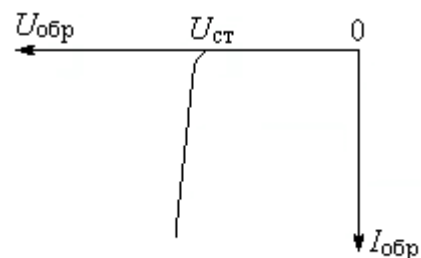


Рис. 2. ВАХ стабілітрона

Одним з різновидів діодів є *стабілітрони*. Прямі області ВАХ діода і стабілітрона практично не відрізняються. Під зворотною ж напругою певної величини, яка називається *напругою стабілізації*, *p-n*-перехід стабілітрона пробивається і його зворотний струм в режимі пробую різко зростає за незначного збільшення зворотної напруги (рис. 2). Тому стабілітрони використовують для стабілізації напруги.

У даній роботі досліджуються випрямні діоди. Схема їх дослідження наведена на рис. 3.

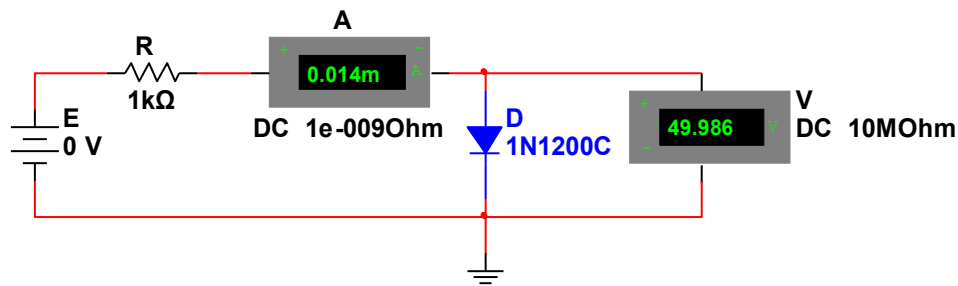


Рис. 3

3. Домашнє завдання

- 3.1. Наведіть схему дослідження напівпровідникових діодів для зняття прямих областей ВАХ.
- 3.2. Наведіть очікувані ВАХ германієвого та кремнієвого діодів.
- 3.3. Наведіть очікувану ВАХ стабілітрона.
- 3.4. Заготуйте та оцифруйте осі координат для прямих ВАХ діодів $I_{пр} = f(U_{пр})$ так, щоб площа графіка була б не менше половини сторінки зошита. Дозволені масштаби: 1; 2; 4; 5; 10; 20 і т.д.
- 3.5. Заготуйте форму табл. 1.
- 3.6. Підготуйте відповіді на контрольні запитання.

4. Лабораторне завдання

- 4.1. Відкрийте файл „№ 1.2. Діод”.
- 4.2. Увімкніть стенд встановленням курсора на тумблер  та кліком лівої клавіші миші.
- 4.3. Зіставте складену схему дослідження з лабораторним макетом та знайдіть на ньому джерело живлення та вимірювальні прилади.
- 4.4. Змінюючи напругу джерела живлення E та відлічуючи прямий струм $I_{пр}$ за амперметром A та пряму напругу $U_{пр}$ за вольтметром V , зніміть пряму гілку ВАХ германієвого діода, відкладаючи зняті показання безпосередньо на графік прямої області ВАХ $I_{пр} = f(U_{пр})$.
- 4.5. Змінюючи напругу джерела живлення E та відлічуючи прямий струм $I_{пр}$ за амперметром A та пряму напругу $U_{пр}$ за вольтметром V , зніміть пряму гілку ВАХ кремнієвого діода, відкладаючи зняті показання безпосередньо на графік прямої області ВАХ $I_{пр} = f(U_{пр})$. Прямі гілки ВАХ германієвого та кремнієвого діодів побудуйте в одних осях координат.
- 4.6. Розрахуйте диференціальний опір кремнієвого діода для трьох значень прямого струму $I_{пр} = 2, 5, 8$ мА.

$$r_d = \Delta U_{пр} / \Delta I_{пр}$$

Результати розрахунку занесіть до табл. 1.

Таблиця 1

$I_{пр}, \text{мА}$	$r_d, \text{Ом}$

4.7. Зробіть висновки щодо:

- меж зміни прямого струму та прямої напруги,
- залежності диференціального опору від прямого струму.

5. Зміст протоколу

5.1. Виконання домашнього завдання

- 5.1.1. Схема дослідження за п. 3.1.
- 5.1.2. Очікувані ВАХ за п. 3.2 і 3.3.
- 5.1.3. Осі координат за п. 3.4.
- 5.1.3. Форма табл. 1.

5.2. Виконання лабораторного завдання

- 5.2.1. ВАХ германієвого та кремнієвого діодів за п. 4.4 і 4.5.
- 5.2.2. Розрахунки за п. 4.6.
- 5.2.3. Табл. 1.
- 5.2.4. Висновки за п. 4.7.

6. Контрольні запитання

- 6.1. Поясніть принцип дії випрямного діода.
- 6.2. Поясніть принцип дії стабілітрона.
- 6.3. Наведіть ВАХ випрямного діода та її хід.
- 6.4. Наведіть ВАХ стабілітрона та її хід.
- 6.5. Поясніть вплив температури на ВАХ діодів.

Рекомендована література

1. Панфилов И.П., Савицкая М.П., Флейта Ю.В. Компонентная база радио-электронной аппаратуры: Учебное пособие, Модуль 1. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2012. – 180 с.
2. Воробьева Е.М., Иванченко В.Д. Основы схемотехники: конспект лекций. Ч.1. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2011. – С. 34 – 41.
3. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: підручник / О.М. Воробйова, В.Д. Иванченко – [2-е вид.]. – Одеса: Фенікс, 2009. – С. 19 – 31.
4. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: У 2-х частинах: навч. посіб. / О.М. Воробйова, В.Д. Иванченко. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова. 2004. – Частина I. – С. 14 – 18.
5. Батушев В.А. Электронные приборы.- М.: Высшая школа, 1980. – 383с.
6. Дулин В.Н. Электронные приборы. – М.: Энергия, 1977. – 424 с.

Лабораторна робота № 1.3

Дослідження біполярного транзистора

1. Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен уміти:

- 1.1. Скласти схеми дослідження біполярного транзистора (БТ) для зняття вольтамперних характеристик (ВАХ).
- 1.2. Знімати та будувати вхідні та вихідні ВАХ транзисторів.
- 1.3. Визначати статичні параметри транзисторів за ВАХ.

2. Ключові положення

Біполярний транзистор має три електроди (*емітер, базу та колектор*) і має два *p-n*-переходи (*емітерний та колекторний*), які взаємодіють між собою.

Назва “*Транзистор*” перекладається на російську мову як “управляний опір”.

Емітерний перехід є вхідним колом, а колекторний – вихідним. Якщо джерело вхідного сигналу споживає меншу потужність, ніж та, яка розсіюється у вихідному колі, то вхідний сигнал підсилюється.

Розрахунок підсилювача неможливий без використання параметрів транзистора. Ці параметри не є однозначними і залежать від режиму (сукупності напруг та струмів) транзистора, тобто кількість значень параметрів нескінченна.

Щоб не наводити таку множину даних у довідниках, використовують визначення параметрів за вольтамперними характеристиками транзистора.

Хід ВАХ визначається *схемою включення* транзистора. Існує три схеми включення:

- з спільним емітером (СЕ);
- зі спільною базою (СБ);
- зі спільним колектором (СК).

Розрізняють *вхідні та вихідні ВАХ* для кожної схеми включення транзистора.

Вхідні ВАХ – це залежність вхідного струму від вхідної напруги за *заданій* вихідній напрузі.

Вихідні ВАХ – це залежність вихідного струму від вихідної напруги за *даного* вхідного струму.

Оскільки *задані* параметри режиму можуть мати не одне значення, то ВАХ транзистора являють собою сімейство.

Транзистор характеризується параметрами, формули для розрахунку та назви яких наведено в табл. 1.

***h*-параметри транзистора з ЗЕ**

Параметр	Умова сталості	Формула	Фізичне значення (назва) параметра
h_{11E}	$U_{KE} = \text{const}$	$h_{11E} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B}$	Вхідний опір
h_{12E}	$I_B = \text{const}$	$h_{12E} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{KE}}$	Коефіцієнт зворотного зв'язку
h_{21E}	$U_{KE} = \text{const}$	$h_{21E} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}$	Коефіцієнт передавання струму бази
h_{22E}	$I_B = \text{const}$	$h_{22E} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{KB}}$	Вихідна провідність

У даній роботі досліджується транзистор у схемі з ЗЕ.
Схема дослідження транзистора наведена на рис. 1.

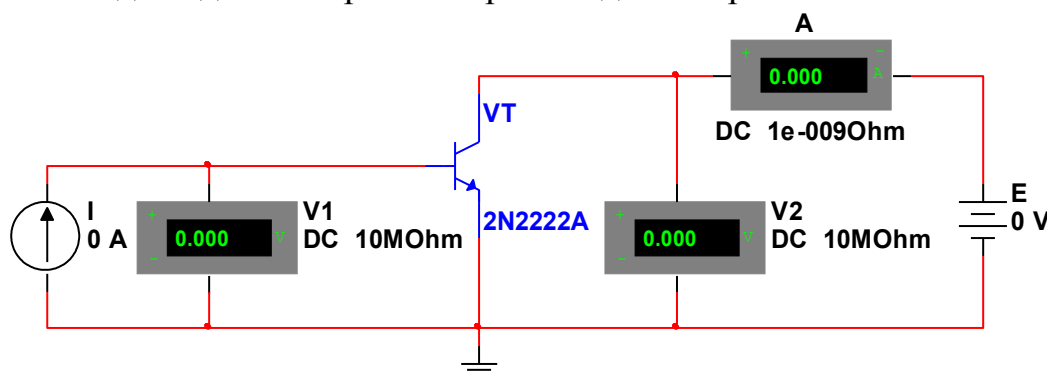


Рис. 1

3. Домашнє завдання

- 3.1. Наведіть схему дослідження БТ для зняття вхідних та вихідних ВАХ у схемі з ЗЕ.
- 3.2. Наведіть очікувані ВАХ за п. 3.1.
- 3.3. Наведіть формули для графоаналітичного розрахунку *h*-параметрів.
- 3.4. Заготуйте та оцифруйте осі координат для вхідних та вихідних характеристик транзистора так, щоб площа графіка була б не менше половини сторінки зошита. Дозволені масштаби: 1; 2; 4; 5; 10; 20 и т.д.
- 3.5. Підготуйте відповіді на контрольні запитання.

4. Лабораторне завдання

- 4.1. Відкрийте файл „№ 1.3. Транзистор”.
- 4.2. Увімкніть стенд встановленням курсора на тумблер  і кліком лівої клавіші миші.
- 4.3. Зіставте складену схему дослідження з лабораторним макетом та знайдіть на ньому джерелом живлення та вимірювальні прилади.

4.4. Зніміть та побудуйте сімейство вхідних характеристик транзистора $I_6 = f(U_{6e})$ для схеми з ЗЕ за постійних значень напруги на колекторі $U_{ке} = 0,1$ В і 10 В (величина напруги джерела E), змінюючи значення струму бази (величину струму джерела I) та змінюючи напругу бази U_{6e} вольтметром V1, відкладаючи зняті показання безпосередньо на графік вхідних ВАХ $I_6 = f(U_{6e})$.

4.5. Зніміть та побудуйте сімейство вихідних характеристик транзистора $I_k = f(U_{ке})$ для схеми з ЗЕ за постійних значень струму бази $I_6 = 10, 30, 60$ мкА, змінюючи значення напруги колектора $U_{ке}$ (величину напруги джерела E) та вимірюючи струм колектора амперметром А, відкладаючи зняті показання безпосередньо на графік вихідних ВАХ $I_k = f(U_{ке})$.

4.6. Визначте параметри для схеми з ЗЕ $h_{11E}; h_{12E}; h_{21E}; h_{22E}$ у робочій точці $I_6 = 30$ мкА індивідуально для кожного члена бригади

$$U_{ке1} = 4 \text{ В}; U_{ке2} = 5 \text{ В}; U_{ке3} = 6 \text{ В}.$$

5. Зміст протоколу

5.1. Виконання домашнього завдання

5.1.1. Схема дослідження за п. 3.1.

5.1.2. Очікувані ВАХ за п. 3.2.

5.1.3. Формули за п. 3.3.

5.1.4. Осі координат за п. 3.4.

5.2. Виконання лабораторного завдання

5.2.1. Зняті ВАХ за п. 4.4 і 4.5.

5.2.2. Розраховані параметри за п. 4.6.

6. Контрольні запитання

6.1. Поясніть принцип дії біполярного транзистора.

6.2. Наведіть вхідні статичні характеристики БТ у схемі з ЗЕ і поясніть їх хід.

6.3. Наведіть вихідні статичні характеристики БТ у схемі з ЗЕ і поясніть їх хід.

6.4. Визначення h -параметрів за статичними характеристиками.

Рекомендована література

1. Панфилов И.П., Савицкая М.П., Флейта Ю.В. Компонентная база радио-электронной аппаратуры: Учебное пособие, Модуль 1. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2012. – 180 с.

2. Воробьева Е.М., Иванченко В.Д. Основы схемотехники: конспект лекций. Ч.1. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2011. – С. 61 – 75.

3. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: підручник / О.М. Воробйова, В.Д. Иванченко – [2-е вид.]. – Одеса: Фенікс, 2009. – С. 19 – 31.

4. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: У 2-х частинах: навч. посіб. / О.М. Воробйова, В.Д. Иванченко. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова. 2004. – Частина I. – С. 14 – 18.

5. Батушев В.А. Электронные приборы.- М.: Высшая школа, 1980. – 383 с.

6. Дулин В.Н. Электронные приборы. – М.: Энергия, 1977. – 424 с.

Лабораторна робота № 1.4

Дослідження підсилювача на біполярному транзисторі

1. Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен уміти:

- 1.1. Скласти схеми підсилювачів на біполярних транзисторах.
- 1.2. Експериментально визначати коефіцієнт підсилення.
- 1.3. Змінювати коефіцієнт підсилення.
- 1.4. Встановлювати активний режим роботи транзистора.
- 1.5. Обирати положення робочої точки для забезпечення мінімальних спотворень сигналу.
- 1.6. Визначати опір навантаження та напругу живлення.

2. Основні положення

Транзисторний підсилювач, схема якого наведена на рис. 1, містить транзистор VT , опір колекторного навантаження R_K , резистор у колі бази R_B та джерело живлення E_{π} .

$U_{\text{вх}}$ – вхідна напруга, яку треба підсилити;

$U_{\text{вих}}$ – вихідна підсилена напруга.

Опором резистора R_B встановлюють робочу точку на ВАХ транзистора.

Щоб внутрішній опір та постійна складова вхідного сигналу не впливали на режим роботи транзистора VT , напруга $U_{\text{вх}}$ підводиться до підсилювача через роздільний конденсатор C .

За неспотвореного вихідного сигналу обидві його різнополярні напівхвилі повинні мати однакові амплітуди. Для цього робоча точка на вихідних ВАХ повинна розміщуватися на середині робочої ділянки, тобто напруга колектора у робочій точці має дорівнювати

$$U_{0K} = 0,5(E_{\pi} - U_{\text{КЕнас}}). \quad (1)$$

Отже, спотворення вихідної напруги визначаються положенням робочої точки, яке задається струмом бази, тобто опором резистора R_B .

За оптимального опору R_B вихідна напруга сигналу розміщується посередині між E_{π} та $U_{\text{КЕнас}}$ (рис. 2,а).

Якщо встановити $R_B < R_{B \text{ опт}}$, то обмежується від'ємна напівхвиля вихідного сигналу напругою насичення $U_{\text{КЕнас}}$ (рис. 2,б), а за $R_B > R_{B \text{ опт}}$ обмежується додатна напівхвиля вихідного сигналу напругою живлення E_{π} (рис. 2,в).

Із цих рисунків видно, що напруга живлення має бути рівною

$$E_{\pi} = 2 U_{\text{твих}} + U_{\text{КЕнас}}. \quad (2)$$

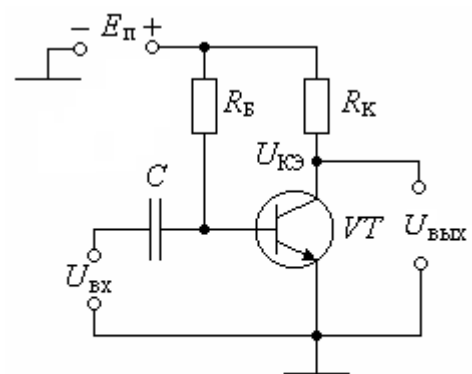


Рис. 1. Принципиальная схема усилителя с общим эмиттером

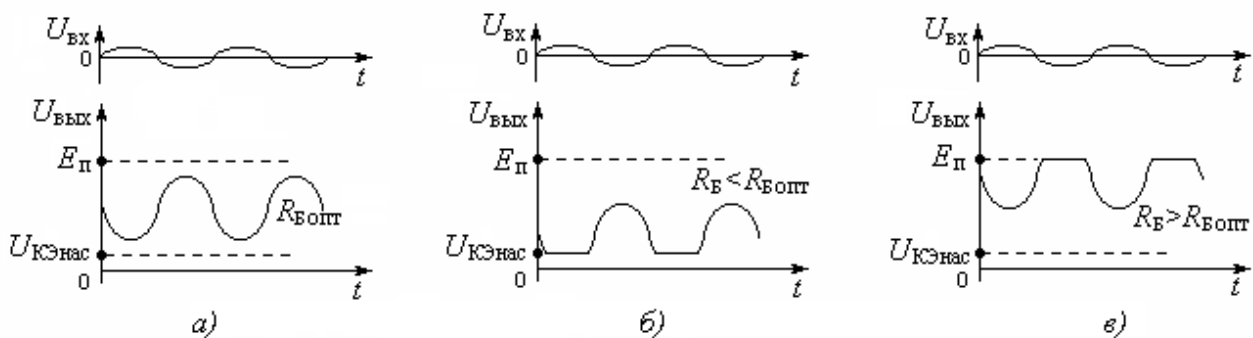


Рис. 2. Временная диаграмма работы усилителя

а – при $U_{0K} = 0,5(E_{П} - U_{КЭ_{нас}})$; б – при $U_{0K} < 0,5(E_{П} - U_{КЭ_{нас}})$; в – при $U_{0K} > 0,5(E_{П} - U_{КЭ_{нас}})$

Напряга насичення $U_{КЭ_{нас}}$ дорівнює приблизно 1 ... 2 В.

Схема дослідження підсилювача наведена на рис. 3.

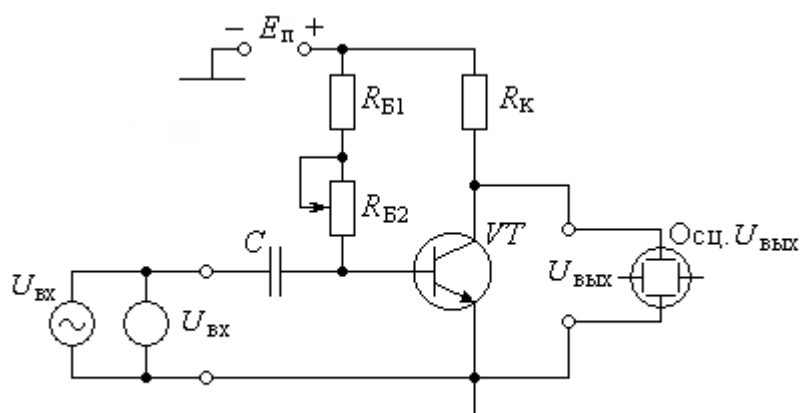


Рис. 3. Схема исследования усилителя

3 Домашнє завдання

3.1. Складіть схему дослідження на БТ із спільним емітером.

3.2. Наведіть очікувану часову діаграму роботи підсилювача (**зверху** елю-ра вхідної напруги, **знизу** – вихідної; розміщення елю-р вхідної та вихідної напруг у *різних* стовпцях або на *різних* сторінках *не допускається*).

3.3. Визначте напругу живлення $E_{ж}$ для отримання амплітуди вихідної напруги $U_{m_{вих}} = 6$ В за формулою (2).

3.4. Порівняйте складену схему дослідження зі схемою лабораторного стенда, яка наведена у лабораторному завданні, та знайдіть на стенді всі елементи схеми.

3.5. Заготуйте форму табл. 1.

3.6. Підготуйте відповіді на контрольні запитання.

4. Лабораторне завдання

4.1. Налаштуйте лабораторний стенд

4.1.1. Відкрийте файл “№ 1.4. Підсилювач” (рис. 4).

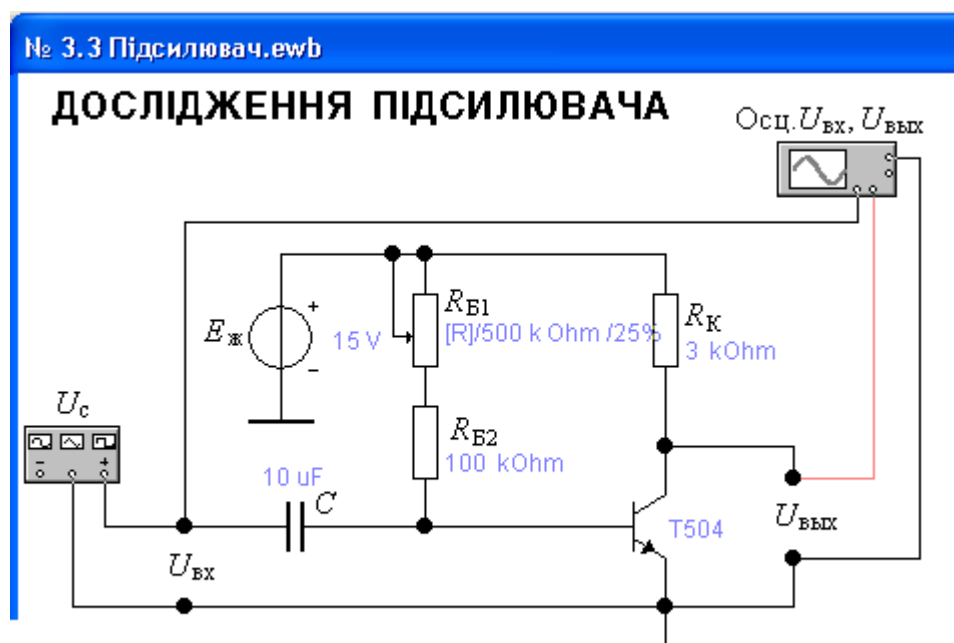


Рис. 4. Схема лабораторного стенда

Тут Осц. $U_{вх}$, $U_{вих}$ – двопроменевий осцилограф для спостереження $U_{вх}$ і $U_{вих}$.

4.1.2. Встановіть розраховану напругу живлення $E_{ж}$ курсором на умовному позначенні джерела живлення $E_{ж}$ (рис. 5) та подвійним кліком лівої клавіші миші. Відкриється панель (рис. 5), на якій слід встановити розраховану за п. 3.3 напругу та зафіксувати її кнопкою ОК.

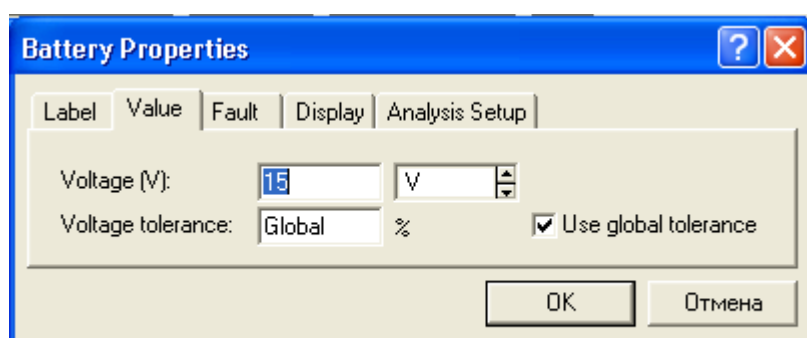


Рис.5

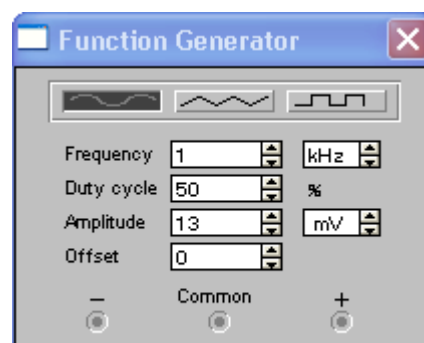


Рис. 6

4.1.3. Увімкніть стенд встановленням курсора на тумблер  та кліком лівої клавіші миші.

4.1.4. Розкрийте осцилограф встановленням курсора на його позначенні „Осц. $U_{вх}$, $U_{вих}$ ” (рис. 4) та подвійним кліком лівої клавіші миші. На екрані буде мерехтати два промені: чорний – для вхідного сигналу та червоний – для вихідного.

4.1.5. Розкрийте генератор сигналу встановленням курсора на позначенні генератора U_c (рис. 4) та подвійним кліком лівої клавiші миші. Відкриється передня панель генератора (див. рис. 6).

4.1.6. Встановіть синусоїдальну форму сигналу клавiшею .

4.1.7. У віконці **Frequency** **kHz** встановіть розмірність *KHz* й частоту вхідної напруги 1 *KHz*.

4.1.8. Зміною опору резистора R_{B1} домагайтесь мінімальних спотворень сигналу. Зменшення опору R_{B1} досягається натисненням клавiші *R*, а збільшення – одночасним натисненням клавiш *R* та *Shift*.

4.2. Визначте коефіцієнт підсилення

4.2.1. У віконці **Amplitude** **mV** (див. рис. 6) встановіть розмірність *mV* та таку амплітуду вхідної напруги, за якої досягається максимальна неспотворена вихідна напруга.

4.2.2. Забезпечте нерухомість зображення наступними діями:

- зупиніть зображення клавiшею *Pause*;
- збільшіть зображення клавiшею *Expand* на осцилографі;
- розгорніть зображення на увесь екран горизонтальною прокруткою (рис. 7).

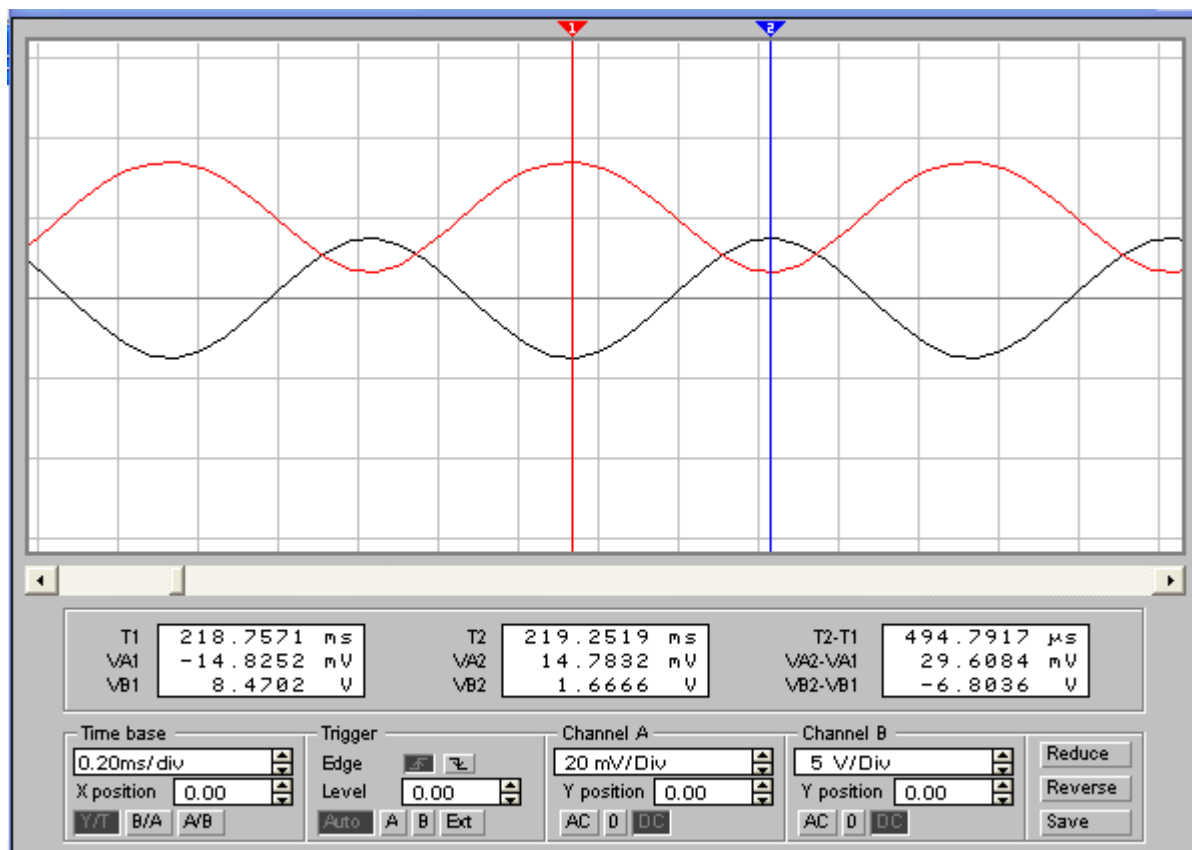


Рис. 7

4.2.3. Наведіть у *масштабі* часову діаграму роботи підсилювача, зберігаючи *постійну складову* та звертаючи увагу на *фазу* сигналів (*зверху* вхідна напруга, *знизу* – вихідна; розміщення епюр вхідної та вихідної напруг у *різних* стовпцях або на *різних* сторінках *не допускається*).

4.2.4. Розрахуйте постійну складову вихідної напруги U_{0K} , виміряйте амплітуди вхідної $U_{mвх}$ та вихідної $U_{mвих}$ напруг, визначте коефіцієнт підсилення

$$U_{0K} = \frac{U_{K\max} + U_{K\min}}{2}, \quad K = \frac{U_{mвих}}{U_{mвх}}$$

Т а б л и ц я 1

Визначення коефіцієнта підсилення

Номер вимірювання	Параметри			
	$U_{mвх}$, мВ	$U_{mвих}$, В	K	U_{0K} , В
1				
2				

та занесіть результати вимірювань та розрахунків у рядок 1 табл. 1.

Амплітуди $U_{mвх}$ та $U_{mвих}$ вимірюються на збільшеному екрані осцилографа (рис. 7) встановленням маркерів 1 і 2 на різнополярні амплітуди. Подвійні амплітуди сигналів можна відрахувати у правому віконці:

$$2 U_{mвх} = VA2 - VA1, \quad 2 U_{mвих} = VB2 - VB1.$$

Значення максимальної $U_{K\max}$ та мінімальної $U_{K\min}$ колекторних напруг відраховуються за допомогою маркерів.

4.2.5. Зробіть висновки про наявність у вихідній напрузі змінної та постійної складових та полярності вхідної і вихідної напруг.

4.2.6. Зменшіть амплітуду вхідної напруги вдвічі й результати вимірювань за методикою п. 4.2.4 занесіть у рядок 2 табл. 1.

4.2.7. Зробіть висновки про вплив амплітуди вхідного сигналу на коефіцієнт підсилення, постійну та змінну складові вихідної напруги.

4.3. Дослідіть вплив положення робочої точки на спотворення сигналу

4.3.1. Збільшуючи та зменшуючи опір резистора R_{B1} відносно оптимального значення до появи помітних нелінійних спотворень вихідної напруги (рис. 2,б і рис. 2,в), зніміть та наведіть у масштабі часові діаграми роботи підсилювача із зазначенням умов їх походження ($R_{B1} < R_{B1\text{опт}}$ і $R_{B1} > R_{B1\text{опт}}$). (Зверху вхідна напруга, знизу – вихідна; розміщення епюр вхідної та вихідної напруг у різних стовпцях або на різних сторінках не допускається).

УВАГА!

Після роботи з осцилографом (рис. 4) або генератором не працює жодна кнопка. Для того, щоб кнопки працювали, слід встановити курсор за межами осцилографа і генератора та клікнути лівою клавішею миші. Кнопки почнуть працювати.

4.3.2. Зробіть висновки про вплив опору резистора R_B на постійну складову вихідної напруги та спотворення сигналу.

5. Зміст протоколу

5.1. Виконання домашнього завдання

5.1.1. Схема дослідження підсилювача за п. 3.1.

5.1.2. Очікувані діаграми роботи за п. 3.2.

5.1.3. Розрахунок напруг живлення за п. 3.3.

5.1.4. Форма табл. 1.

5.2. Виконання лабораторного завдання

5.2.1. Часова діаграма роботи за п. 4.2.3.

5.2.2. Табл. 1.

5.2.3. Висновки за п. 4.2.5 і 4.2.7.

5.2.4. Часова діаграма роботи за п. 4.3.1.

5.2.5. Висновки за п. 4.3.2.

6. Контрольні запитання

6.1. Наведіть схему підсилювача на біполярному транзисторі з СЕ.

6.2. Поясніть принцип дії підсилювача.

6.3. Поясніть зв'язок між напругою живлення та максимальною неспотвореною амплітудою вихідної напруги.

6.4. Наведіть зв'язок між струмами бази і колектора.

6.5. Поясніть вплив опору резистора у колі бази на спотворення сигналу.

6.6. Поясніть положення робочої точки на вихідних ВАХ транзистора для отримання мінімальних спотворень вихідної напруги.

Рекомендована література

1. Панфилов И.П., Савицкая М.П., Флейта Ю.В. Компонентная база радио-электронной аппаратуры: Учебное пособие, Модуль 1. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2012. – 180 с.

2. Воробьева Е.М., Иванченко В.Д. Основы схемотехники: конспект лекций. Ч.1. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2011. – С. 76 – 87.

3. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: підручник / О.М. Воробйова, В.Д. Іванченко – [2-е вид.]. – Одеса: Фенікс, 2009. – С. 19 – 31.

4. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: У 2-х частинах: навч. посіб. / О.М. Воробйова, В.Д. Іванченко. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова. 2004. – Частина I. – С. 14 – 18.

Лабораторна робота № 1.5

Дослідження тиристорів

1. Мета роботи

Дослідження принципу дії, основних властивостей, параметрів та характеристик тиристорів.

2. Ключові положення

Тиристор – це напівпровідниковий пристрій з трьома і більше взаємодіючими p - n -переходами, вольтамперна характеристика (ВАХ) якого має ділянку з від’ємним диференціальним опором. Тиристор, що має два виводи, називається *діодним тиристором (диністором)*. Тиристор, що має два основних і один справляльний вивід, називається *тріодним тиристором (триністором)*. Тиристор, що має симетричну відносно початку координат ВАХ, називається *симетричним тиристором (симістором)*. Діодні та тріодні тиристори пропускають робочий струм лише в одному напрямі, що обмежує можливість їх застосування для регулювання змінного струму. Для цього розроблені двосторонні напівпровідникові структури n - p - n - p - n -типу – *симістори*.

Структура та схема включення триністора наведені на рис. 1.

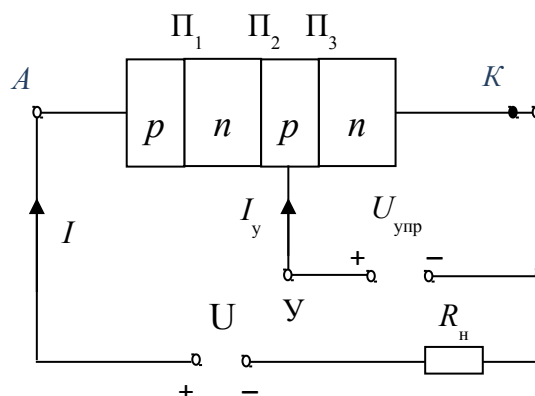


Рис. 1.

На рис. 1 позначено: А – анод, К – катод, У – управляльний електрод. Тиристор має три p - n -переходи, причому переходи Π_1 і Π_2 працюють при прямій напрузі, а середній перехід Π_2 – при зворотній напрузі. Вольтамперна характеристика триністора наведена на рис. 2. На ВАХ можна виділити п’ять основних ділянок: 1 – запертого стану, коли струм через тиристор визначається струмом зворотно зміщеного колекторного переходу Π_2 ; 2 – **обратимый** електричний пробій; 3 – від’ємного опору; 4 – увімкненого стану, коли струм через тиристор визначається величиною опору зовнішнього навантаження; 5 – зворотної напруги. Якщо збільшити напругу джерела живлення U за струму справляльного електрода $I_{упр} = 0$, струм тиристора збільшиться незначно (ділянка 1), допоки напруга не стане рівною напрузі $U_{вкл}$. На ділянці 2 відбувається **обратимый** електричний пробій колекторного переходу Π_2 . Збільшення струму через пристрій супроводжується зменшенням напруги між анодом та катодом, диференціальний опір пристрою має від’ємний характер (ділянка 3).

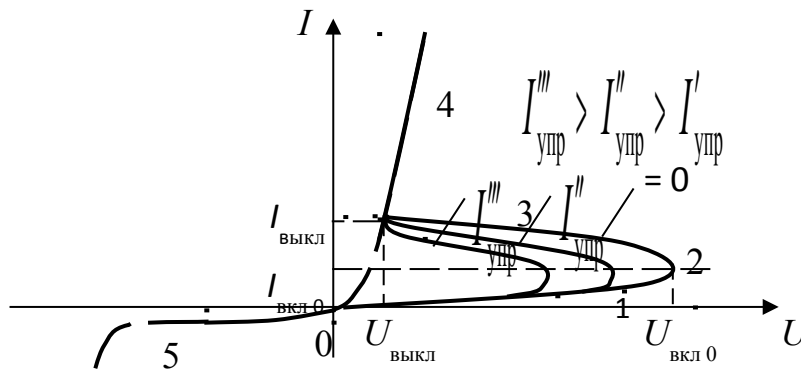


Рис. 2. Вольт-амперна характеристика триністора

Напруга на резисторі навантаження зростає й відбувається перемикавання тиристора. Колекторний перехід Π_2 переходить у відкритий стан. ВАХ має вигляд, що відповідає прямій гілці діода (ділянка 4). Далі при збільшенні напруги U тиристор веде себе як звичайний діод. Якщо струм I через тиристор зменшувати (зменшувати напругу U), то за деякого значення струму $I_{\text{вкл}}$ (напруга $U_{\text{вкл}}$) струм I різко зменшується, тиристор переходить стрибком назад до закритого стану.

Якщо прикласти до тиристора напругу зворотної полярності, то емітерні переходи будуть закритими. У цьому випадку ВАХ тиристора нагадує зворотну гілку звичайного діода (ділянка 5). За дуже великих зворотних напругах спостерігається незворотний пробій тиристора. Напруга $U_{\text{вкл}}$ залежить від струму управляльного електрода $I_{\text{упр}}$: зі збільшенням струму $I_{\text{упр}}$ напруга $U_{\text{вкл}}$ зменшується.

Основною відмінністю та перевагою тиристорної структури порівняно з транзисторною є те, що тиристор має властивість пам'яті. Достатньо короткочасним сигналом переключити його у провідний стан, як він залишиться у цьому стані до тих пір, доки струм через нього не стане меншим струму виключення – $I_{\text{вкл}}$. Для управління транзистором на його вході безперервно треба підтримувати сигнал. У тиристорних схемах через лавиноподібне перемикавання форма вихідного сигналу практично не залежить від величини та форми вхідного. Це дозволяє отримати у тиристорних схемах дуже значні коефіцієнти підсилення потужності, великий ККД та круті фронти імпульсних сигналів.

Електричні параметри тиристорів

До основних електричних параметрів тиристорів відносяться:

$U_{\text{вкл}}$ – максимальна пряма напруга, яка називається *напругою включення*;

$I_{\text{вкл}}$ – анодний струм включення;

$U_{\text{вкл}}$ – анодна напруга виключення;

$I_{\text{вкл}}$ – анодний струм виключення;

$I_{\text{доп}}$ – максимально припустимий анодний струм у відкритому стані;

$U_{\text{ост}}$ – остаточна напруга, тобто падіння напруги на тиристорі у відкритому стані за максимально припустимого анодного струму;

$I_{\text{у вкл}}$ – струм включення спраляльного електрода;

$U_{\text{проб}}$ – напруга пробою;

$U_{зв\ макс}$ – максимально припустима зворотна напруга, за якої забезпечується задана надійність пристрою.

Параметрами тиристорів є також час включення $t_{вкл}$, час виключення $t_{викл}$ та загальна ємність C_0 .

Схема дослідження тиристора наведена на рис. 3.

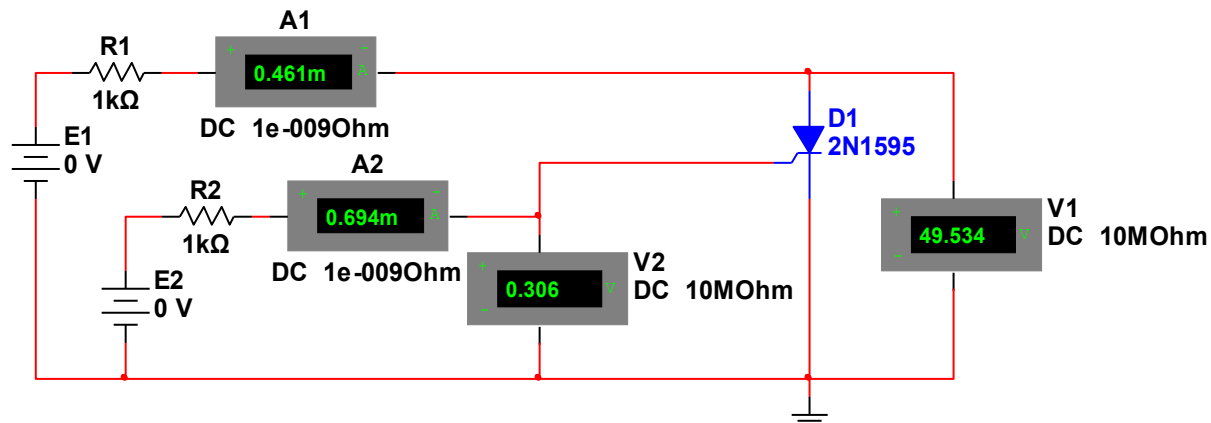


Рис. 3

3. Домашнє завдання

- 3.1. Вивчіть згідно з рекомендованою літературою будову, принцип дії, основні параметри та характеристики тиристорів.
- 3.2. Складіть схеми дослідження динистора, триністора.
- 3.3. Наведіть їх очікувані ВАХ.
- 3.4. Заготуйте та оцифруйте осі координат для ВАХ тиристора так, щоб площа графіка була б не менше половини сторінки зошита. Дозволені масштаби: 1; 2; 4; 5; 10; 20 и т.д.
- 3.5. Підготуйте відповіді на контрольні запитання.

4. Лабораторне завдання

- 4.1. Відкрийте файл „№ 1.5. Тиристор”.
- 4.2. Увімкніть стенд встановленням курсора на тумблер  і кліком лівої клавіші миші.
- 4.3. Зіставте складену схему дослідження з лабораторним макетом та знайдіть на ньому джерела живлення і вимірювальні пристрої.
- 4.4. Зніміть та побудуйте ВАХ динистора і триністора.
- 4.5. За знятими ВАХ визначте основні параметри досліджуваних пристроїв.
- 4.6. Дослідіть способи увімкнення та вимкнення тиристора й вплив на його роботу значень анодного резистора.

5. Зміст протоколу

5.1. Виконання домашнього завдання

- 5.1.1. Схема дослідження за п. 3.2.
- 5.1.2. Очікувані ВАХ за п. 3.3.
- 5.1.3. Осі координат за п. 3.4.

5.2. Виконання лабораторного заїдання

5.2.1. Зняті ВАХ за п. 4.4.

5.2.2. Розраховані параметри за п. 4.5.

5.2.3. Висновки за п. 4.6.

6. Контрольні запитання

6.1. Наведіть структуру та схеми включення диністора та триністора.

6.2. Поясніть принцип дії диністора.

6.3. Назвіть основні параметри і характеристики диністора й триністора.

6.4. Як можна увімкнути та вимкнути диністор та триністор?

6.5. Як змінюється ВАХ триністора при зміні струму управління?

6.6. Назвіть основні відмінності тиристора від транзистора.

Рекомендована література

1. Панфилов И.П., Савицкая М.П., Флейта Ю.В. Компонентная база радио-электронной аппаратуры: Учебное пособие, Модуль 1. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2012. – 180 с.

2. Воробьева Е.М., Иванченко В.Д. Основы схемотехники: конспект лекций. Ч.1. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2011. – С. 133 – 136.

3. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: підручник / О.М. Воробйова, В.Д. Иванченко – [2-е вид.]. – Одеса: Фенікс, 2009. – С. 133 – 135.

4. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: У 2-х частинах: навч. посіб. / О.М. Воробйова, В.Д. Иванченко. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова. 2004. – Частина I. – С. 110 – 113.

5. Батушев В.А. Электронные приборы. – М.: Высшая школа, 1980. – 383 с.

6. Дулин В.Н. Электронные приборы. – М.: Энергия, 1977. – 424 с.

Лабораторна робота № 2.1

Дослідження диференціальних каскадів

1. Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен уміти:

- 1.1. Скласти схеми диференціальних каскадів з резистивним та динамічним навантаженням.
- 1.2. Встановлювати режим для неспотвореного підсилення.
- 1.3. Вимірювати амплітуди вхідної та вихідної напруг.
- 1.4. Визначати коефіцієнт підсилення.

2. Ключові положення

Диференціальні каскади підсилюють протифазні сигнали і придушують синфазні.

Основною перевагою диференціальних каскадів є придушення наведень та синфазних сигналів.

Диференціальні каскади бувають з резистивним колекторним навантаженням та динамічним колекторним навантаженням.

В якості динамічного колекторного навантаження використовують опір джерела струму, яке у випадку ідеального джерела є нескінченно великим. Тому коефіцієнт підсилення диференціального каскаду з динамічним навантаженням набагато більший, ніж з резистивним.

У даній роботі досліджується підсилення протифазних та синфазних сигналів диференціальними каскадами за дії наведень, експериментально визначаються та зіставляються коефіцієнти підсилення диференціальних каскадів з резистивним та динамічним колекторним навантаженням.

Схема дослідження резистивного диференціального каскаду наведена на рис. 1.

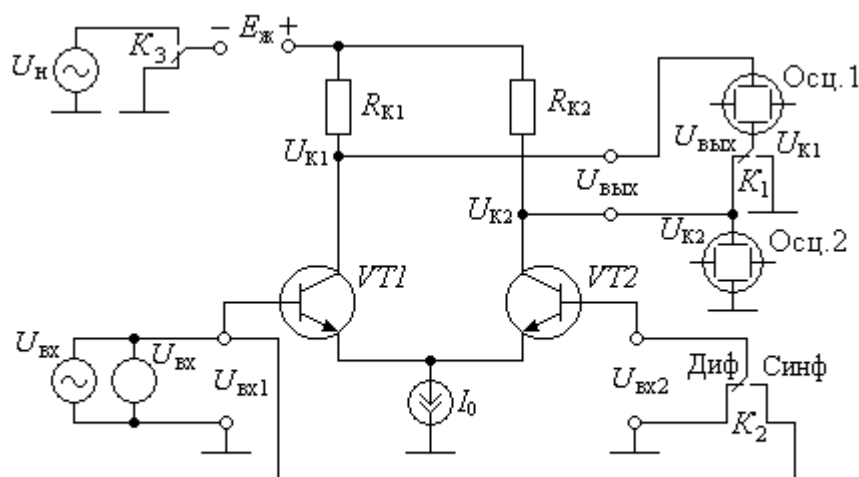


Рис. 1. Схема исследования резистивного дифференциального каскада

У положенні „U_{K1}” перемикача K₁ спостерігаються епюри напруг U_{K1} і U_{K2} осцилографами Осц. 1 та Осц. 2. У положенні „U_{вхх}” перемикача K₁ спостерігається вихідна напруга каскаду U_{вхх}.

Перемикачем K_2 реалізується дослідження диференціальних або синфазних сигналів.

Перемикачем K_3 можна увімкнути джерело наведень U_H .

3. Домашнє завдання

3.1. Складіть схему дослідження диференціального каскаду з резистивним навантаженням.

3.2. Складіть схему дослідження диференціального каскаду з динамічним навантаженням.

3.3. Зіставте складені схеми дослідження зі схемами лабораторних стендів, які наведені у лабораторному завданні, й знайдіть на стендах всі елементи схем.

3.4. Підготуйте відповіді на контрольні запитання.

4 Лабораторне завдання

4.1. Налаштуйте лабораторний стенд

4.1.1. Відкрийте файл “№ 2.1 ДК рез.” (рис. 2).

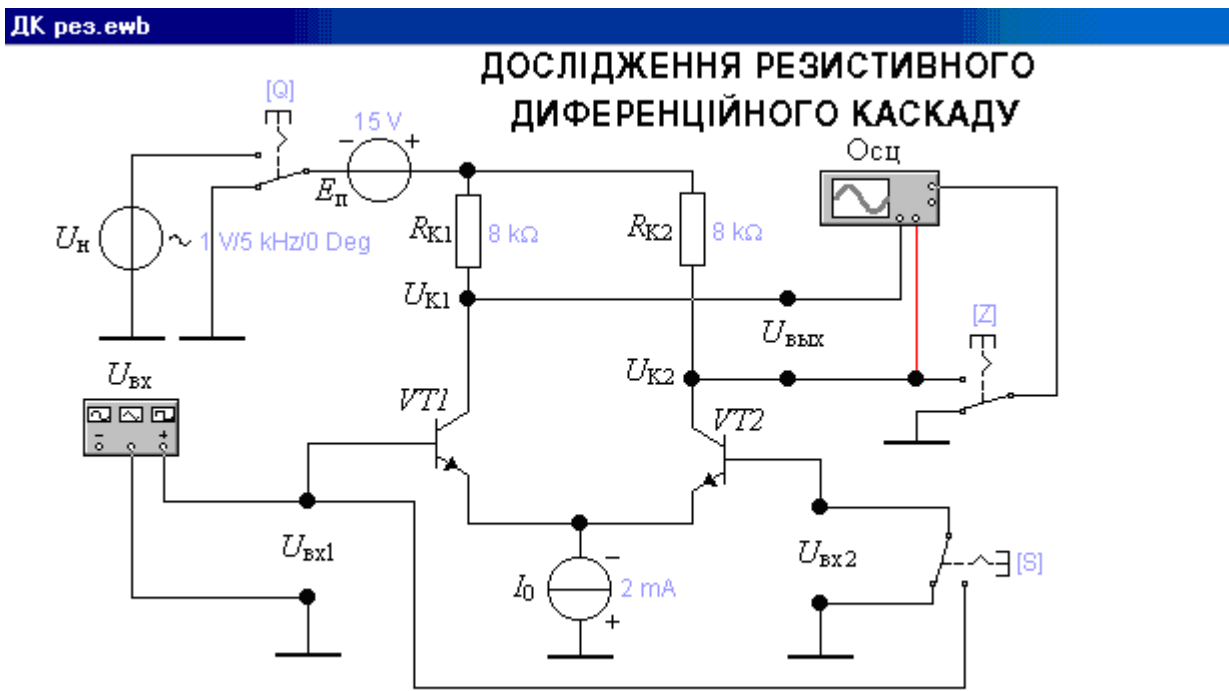


Рис. 2. Схема лабораторного стенда

4.1.2. Увімкніть схему встановленням курсору на тумблер  і кліком лівої клавіші миші.

4.1.3. Розкрийте осцилограф встановленням курсору на його позначенні „Осц” та подвійним кліком лівої клавіші миші. На екрані будуть мерехтати два промені: чорний – для вхідного сигналу і червоний – для вихідного.

4.1.4. Розкрийте генератор сигналу встановленням курсору на його позначенні $U_{ВХ}$ і подвійним кліком лівої клавіші миші. Відкриється передня панель генератора сигналу (рис. 3).

4.1.5. Встановіть синусоїдальну форму сигналу клавiшею .

4.1.6. У віконці Frequency 1 kHz встановіть розмірність kHz та частоту вхідної напруги 1 kHz.

4.1.7. У віконці Amplitude 40 mV встановіть розмірність "mV".

4.1.8. Підiмкніть вхід осцилографа до виходу $U_{\text{вих}}$ переведенням перемикача Z у верхнє положення клавiшею Z.

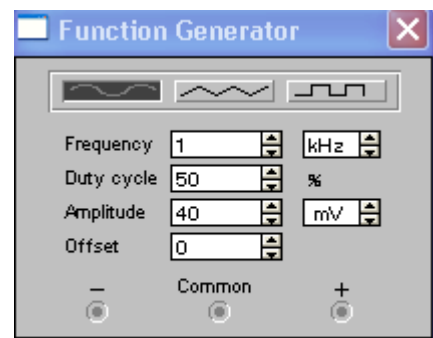


Рис. 3

4.2. Визначте коефіцієнт підсилення диференціального сигналу

4.2.1. Подайте на вхід диференціальний сигнал закороченням входу $U_{\text{вх2}}$ клавiшею S (ліве положення).

4.2.2. Відiмкніть джерело наведень U_n , для чого підiмкніть джерело живлення $E_{\text{ж}}$ до корпусу клавiшею Q (нижнє положення).

4.2.3. Встановіть як можна більшу амплітуду **неспотвореної** вихідної напруги зміною вхідного сигналу у віконці Amplitude 40 mV (рис. 4).

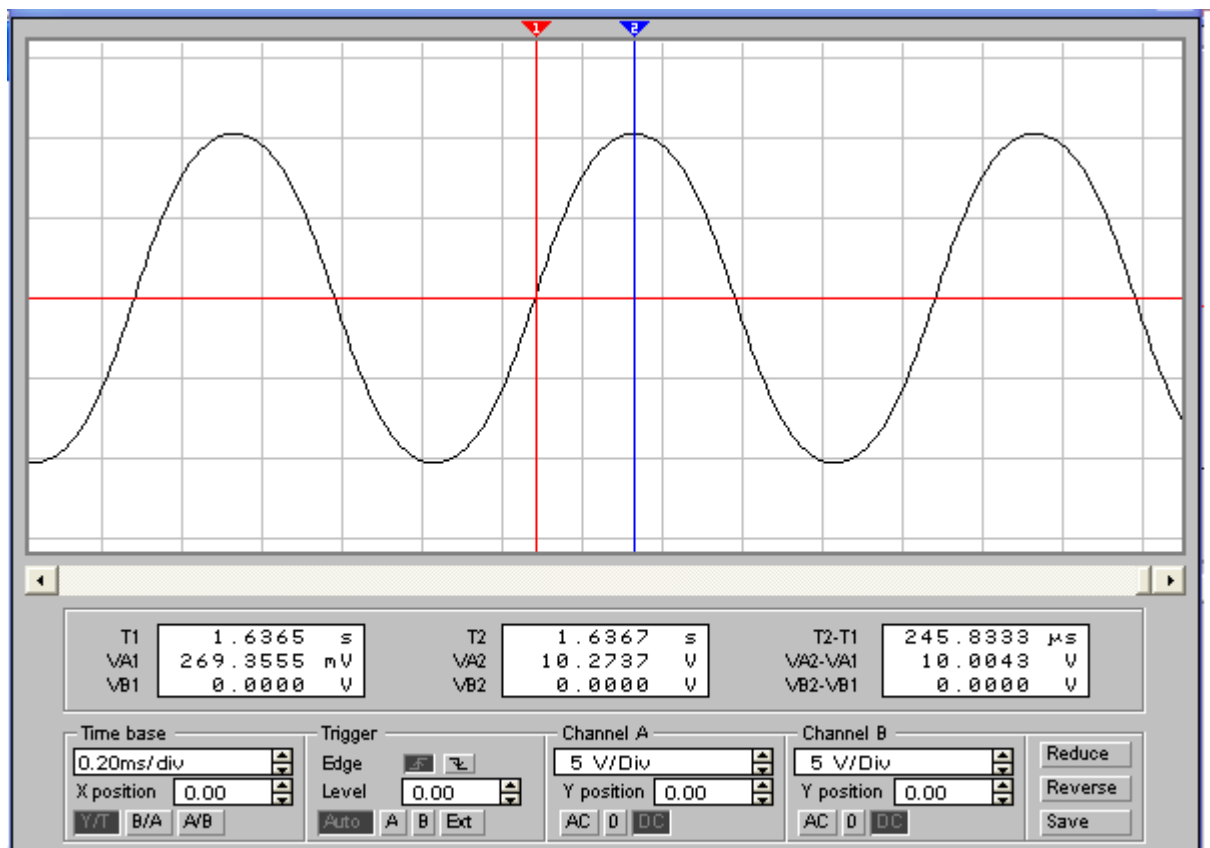


Рис. 4

4.2.4. Забезпечте нерухомість зображення наступними діями:

- зупиніть зображення клавiшею *Pause*;
- збільшіть зображення клавiшею *Expand* на осцилографі;

– розгорніть зображення на увесь екран горизонтальною прокруткою (рис. 4).

4.2.5. Виміряйте амплітуду $U_{m\text{вих}}$ на збільшеному екрані осцилографа встановленням маркерів 1 та 2 відповідно на нульове та амплітудне значення (рис. 4).

Т а б л и ц я 1
Визначення коефіцієнта
підсилення

Каскад	Параметри		
	$U_{m\text{вх}}$ мВ	$U_{m\text{вих}}$ В	K
Резист.			
Динам. без R_n			
Динам. з R_n			

Амплітуду вихідної напруги можна відрахувати у середньому віконці:

$$U_{m\text{вих}} = VA2.$$

Коефіцієнт підсилення диференціального резистивного каскаду дорівнює

$$K_{\text{рез}} = \frac{U_{m\text{вих}}}{U_{m\text{вх}}},$$

де $U_{m\text{вх}}$ – амплітуда вхідної напруги, яке відраховується у віконці

Amplitude 40 mV (рис. 3). Результати вимірювань занесіть до табл. 1.

4.3. Дослідіть придушення синфазних сигналів

4.3.1. Відімкніть джерело наведень U_n переведенням перемикача Q у нижнє положення клавішею Q .

4.3.2. Підімкніть диференціальні сигнали, підімкнувши вхід $U_{\text{вх}2}$ на корпус перемикачем S (ліве положення) за допомогою клавіші S .

4.3.3. Підімкніть напруги U_{K1} і U_{K2} до входів осцилографа переведенням перемикача Z у нижнє положення.

4.3.4. Накресліть у масштабі часову діаграму роботи підсилювача (зверху напруги U_{K1} і U_{K2} , знизу – вихідна напруга $U_{\text{вих}}$, яка спостерігається у верхньому положенні клавіші Z), звертаючи увагу на фазу сигналів та постійну складову.

4.3.5. Підімкніть синфазні сигнали з'єднанням входу $U_{\text{вх}2}$ зі входом $U_{\text{вх}1}$ перемикачем S (праве положення) за допомогою клавіші S .

4.3.6. Зробіть висновки про:

- підсилення (придушення) диференціальних або синфазних сигналів;
- співвідношення між амплітудами вихідних напруг плечей (U_{K1} ; U_{K2}) і каскаду в цілому ($U_{\text{вих}}$).

4.4. Дослідіть придушення наведень

4.4.1. Підімкніть джерело наведень U_n переведенням перемикача Q у верхнє положення клавішею Q .

4.4.2. Виконайте маніпуляції за п. 4.3.2 – 4.3.4.

4.4.3. Зробіть висновки про придушення наведень диференціальним каскадом та його плечима.

4.5. Визначте коефіцієнт підсилення диференціального каскаду з динамічним навантаженням

4.5.1. Відкрийте файл “№ 2.2 ДК дин.” (рис. 5).

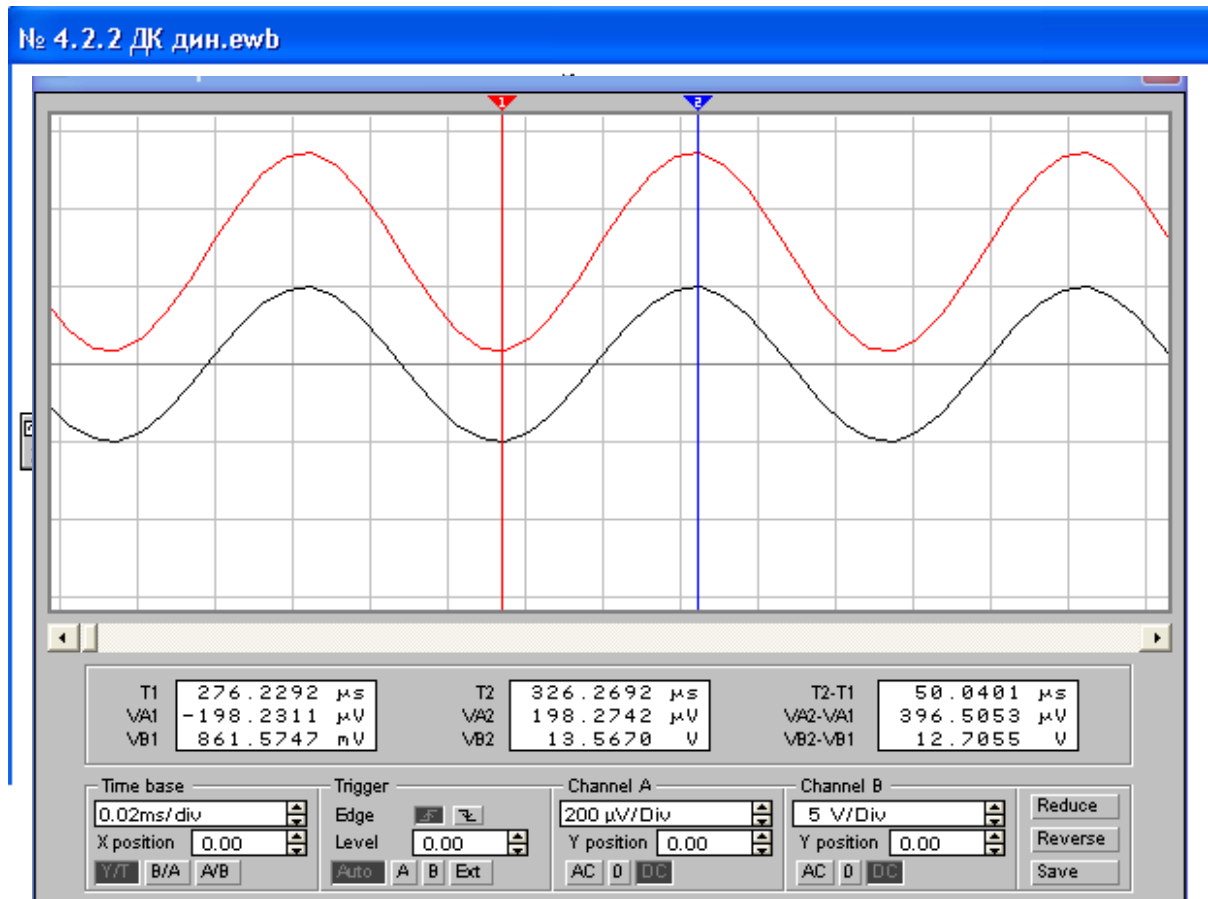


Рис. 6

4.5.2. Відімкніть опір навантаження R_n перемикачем (клавiшею) Z.

4.5.3. Встановіть у віконці Amplitude 40 mV (див. рис. 3) розмірність “ μ V”. Збільшіть амплітуду вхідної напруги до появи на осцилографі вихідного сигналу з амплітудою 4...5 V.

4.5.4. Знайдіть положення робочої точки, щоб на осцилографі з’явився неспотворений сигнал. Встановлення робочої точки здійснюється за допомогою зміщення **двизка** R_n (рис. 5). Натиснення клавiші R на клавіатурі зміщує **двизок** праворуч, а одночасне натиснення клавiш Shift і R – ліворуч.

4.5.5. Встановіть як можна більшу амплітуду неспотвореної вихідної напруги зміною вхідного сигналу у віконці Amplitude 40 mV (див. рис. 3).

4.5.6. Визначте коефіцієнт підсилення, для чого виміряйте амплітуди $U_{m \text{ вих}}$ і $U_{m \text{ вх}}$ на збільшеному екрані осцилографа (рис. 6) встановленням маркерів 1 й 2 на різнополярні амплітуди.

Подвоєні амплітуди сигналів можна відрахувати у правому віконці:

$$2U_{m \text{ вх}} = VA2 - VA1,$$

$$2U_{m \text{ вих}} = VB2 - VB1.$$

Коефіцієнт підсилення каскаду дорівнює

$$K_{\text{дин}} = \frac{U_{m \text{ вих}}}{U_{m \text{ вх}}} = \frac{VB2 - VB1}{VA2 - VA1}.$$

4.5.7. Результати вимірювань і розрахунків занесіть до табл. 1.

4.5.8. Порівняйте $K_{\text{дин}}$ і $K_{\text{рез}}$ та зробіть висновки про їх співвідношення.

4.6. Дослідіть вплив опору навантаження на коефіцієнт підсилення каскаду

4.6.1. Підімкніть до виходу каскаду опір навантаження R_n перемикачем (клавішею) Z (верхнє положення).

4.6.2. Визначте коефіцієнт підсилення за методикою п. 4.5.6 і результати розрахунків занесіть до табл. 1.

4.6.3. Порівняйте знайдені коефіцієнти підсилення без R_n та з R_n та зробіть висновки про вплив опору навантаження на коефіцієнт підсилення.

5. Зміст протоколу

5.1. Виконання домашнього завдання

5.1.1. Схема дослідження диференціального каскаду з резистивним навантаженням.

5.1.2. Схема дослідження диференціального каскаду з динамічним навантаженням.

5.1.3. Форма табл. 1.

5.2. Виконання лабораторного завдання

5.2.1. Розрахунки за п. 4.2.5.

5.2.2. Табл. 1

5.2.3. Часова діаграма роботи за п. 4.3.4.

5.2.4. Висновки за п. 4.3.7.

5.2.5. Часова діаграма роботи за п. 4.4.2.

5.2.4. Висновки за п. 4.4.3.

5.2.5. Розрахунки за п. 4.5.6.

5.2.4. Висновки за п. 4.5.8.

5.2.5. Розрахунки за п. 4.6.2

5.2.6. Висновки за п. 4.6.3

6. Ключові запитання

6.1. Поясніть принцип дії каскадів з резистивним та динамічним навантаженням.

6.2. Порівняйте коефіцієнти підсилення каскадів з резистивним та динамічним навантаженням та поясніть їх відмінність.

6.3. Поясніть вплив опору навантаження на вихідну напругу.

6.4. Поясніть придушення наведення диференціальним каскадом.

6.5. Поясніть підсилення диференціальних і придушення синфазних сигналів.

Рекомендована література

1. Панфилов И.П., Савицкая М.П., Флейта Ю.В. Компонентная база радио-электронной аппаратуры: Учебное пособие, Модуль 2. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2013. – 192 с.
2. Воробьева Е.М., Иванченко В.Д. Основы схемотехники: конспект лекций. Ч.2. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2012. – С. 57 – 58.
3. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: підручник / О.М. Воробйова, В.Д. Іванченко – [2-е вид.]. – Одеса: Фенікс, 2009. – С. 161 – 163.
4. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: У 2-х частинах: навч. посіб. / О.М. Воробйова, В.Д. Іванченко. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова. 2004. – Частина I. – С. 138 – 144.

Лабораторна роботи № 2.2

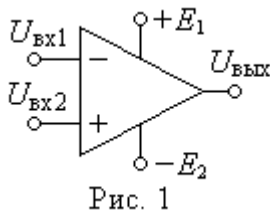
Дослідження каскадів на операційних підсилювачах

1. Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен уміти:

- 1.1. Скласти схеми каскадів на операційних підсилювачах (ОП).
- 1.2. Розраховувати коефіцієнт підсилення каскадів на ОП.
- 1.3. Підключати навантаження.
- 1.4. Визначати та забезпечувати потрібний коефіцієнт підсилення.

2. Ключові положення



Операційний підсилювач (ОП), умовне позначення якого наведено на рис. 1, має вихід $U_{\text{вих}}$ та диференціальні входи *інвертуючий* $U_{\text{вх1}} (-)$ й *неінвертуючий* $U_{\text{вх2}} (+)$, які забезпечують підсилення відповідно з поворотом фази або без нього.

ОП близький до ідеального, так як має:

- високий коефіцієнт підсилення (близько мільйона);
- великий вхідний опір;
- малий вихідний опір;
- нульову постійну вихідну напругу у робочій точці (за рівних вхідних напруг).

Для інвертуючого підсилювача коефіцієнт підсилення дорівнює

$$K_i = \frac{R_2}{R_1}, \quad (1)$$

а для неінвертуючого

$$K_n = \frac{R_2}{R_1} + 1, \quad (2)$$

де R_1 і R_2 – опори резисторів у колах відповідно інвертуючого входу та зворотного зв'язку.

У даній роботі досліджуються інвертуючий та неінвертуючий підсилювачі та повторювач на ОП. Визначаються, встановлюються та порівнюються їх коефіцієнти підсилення.

Досліджуються співвідношення між напругою живлення та максимальною вихідною напругою. Експериментально визначаються припустимі амплітуди сигналу для неспотвореного підсилення.

На рис. 2, 3 і 4 наведено схеми дослідження інвертуючого та неінвертуючого підсилювачів та повторювача напруги.

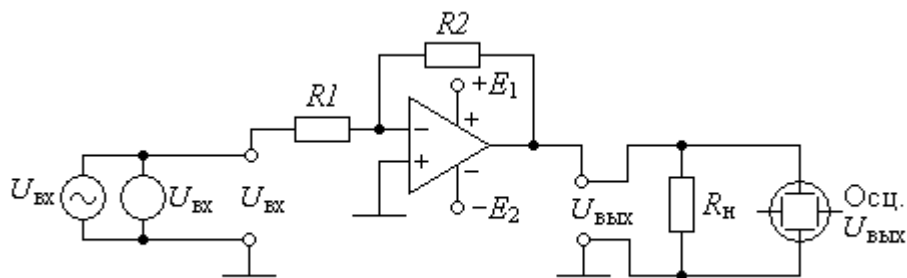


Рис. 2. Схема исследования инвертирующего усилителя

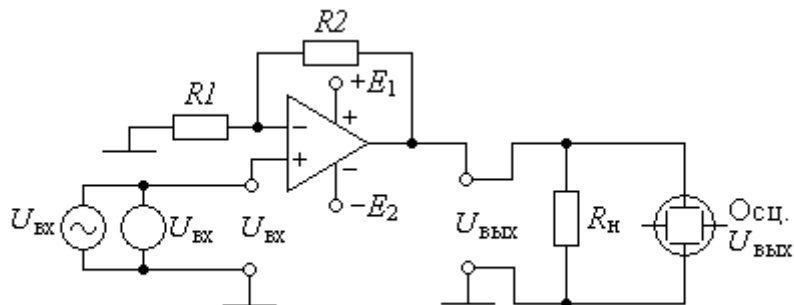


Рис. 3. Схема исследования неинвертирующего усилителя

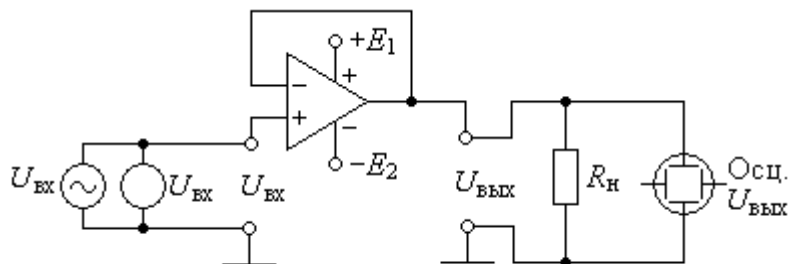


Рис. 4. Схема исследования повторителя

3. Домашнє завдання

- 3.1. Складіть схему дослідження інвертуючого підсилювача.
- 3.2. Складіть схему дослідження неінвертуючого підсилювача.
- 3.3. Складіть схему дослідження повторювача напруги.
- 3.4. Порівняйте складені схеми дослідження зі схемами лабораторних стендів, які наведено в лабораторному завданні, та знайдіть на стенді всі елементи схем.
- 3.5. Розрахуйте опір резистора R_2 для отримання коефіцієнта підсилення інвертуючого підсилювача $K_i = 2$, якщо $R_1 = 1$ кОм.
- 3.6. Розрахуйте коефіцієнт підсилення неінвертуючого підсилювача за даними п. 3.5.
- 3.7. Результати розрахунків занесіть до табл. 1 і 2.
- 3.8. Підготуйте відповіді на контрольні запитання.

4. Лабораторне завдання

4.1. Налаштуйте лабораторний стенд

- 4.1.1. Відкрийте файл “№ 2.2.1 ОП інв” (рис. 5).

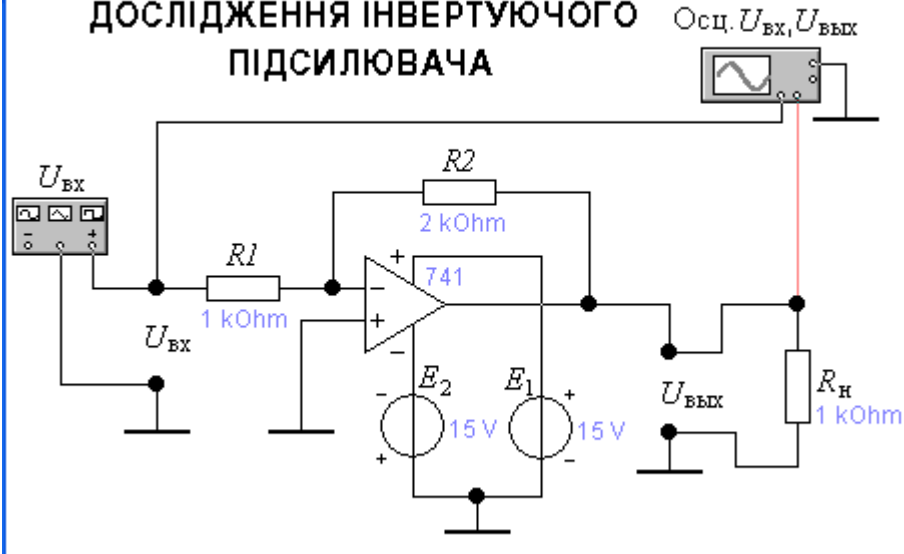
ДОСЛІДЖЕННЯ ІНВЕРТУЮЧОГО
ПІДСИЛЮВАЧА

Рис. 5. Схема лабораторного стенда

4.1.2. Увімкніть схему встановленням курсору на тумблер і кліком лівої клавіші миші.

4.1.3. Розкрийте осцилограф встановленням курсору на його позначенні „Осц. U_{BX} , $U_{ВЫХ}$ ” та подвійним кліком лівої клавіші миші.

На екрані будуть мерехтити два промені: чорний – для вхідного сигналу і червоний – для вихідного.

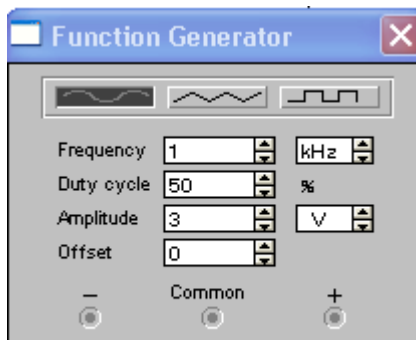


Рис. 6

4.1.4. Розкрийте генератор сигналу U_{BX} встановленням курсору на його умовному позначенні та подвійним кліком лівої клавіші миші. Відкриється передня панель генератора (рис. 6).

4.1.5. Встановіть синусоїдальну форму сигналу клавішею .

4.1.6. У віконці Frequency 1 kHz встановіть розмірність kHz та частоту вхідної напруги 1 kHz.

4.1.7. У віконці Amplitude 3 V встановіть розмірність V й амплітуду сигналу 3 V.

4.1.8. Встановіть розрахований у п. 3.5 опір R_2 встановленням курсору на умовному позначенні резистора та подвійним кліком лівої клавіші миші. Відкриється панель (рис. 7), на якій слід встановити необхідний опір резистора та підтвердити це клавішею OK.

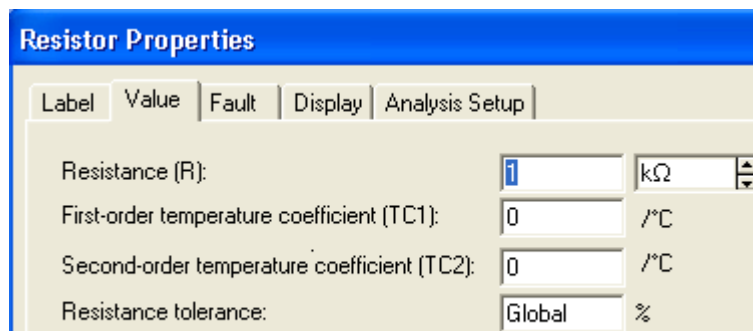


Рис. 7

4.2. Визначте коефіцієнт підсилення інвертуючого підсилювача

4.2.1. Забезпечте нерухомість зображення наступними діями:

– зупиніть зображення клавішею *Pause*;

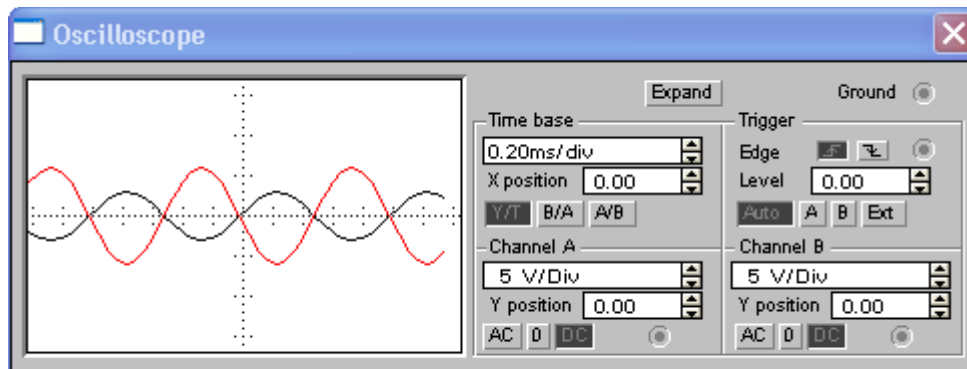


Рис.8

– збільшіть зображення клавішею *Expand* на осцилографі (рис. 8);

– розгорніть зображення на увесь кран горизонтальною прокруткою (рис. 9).

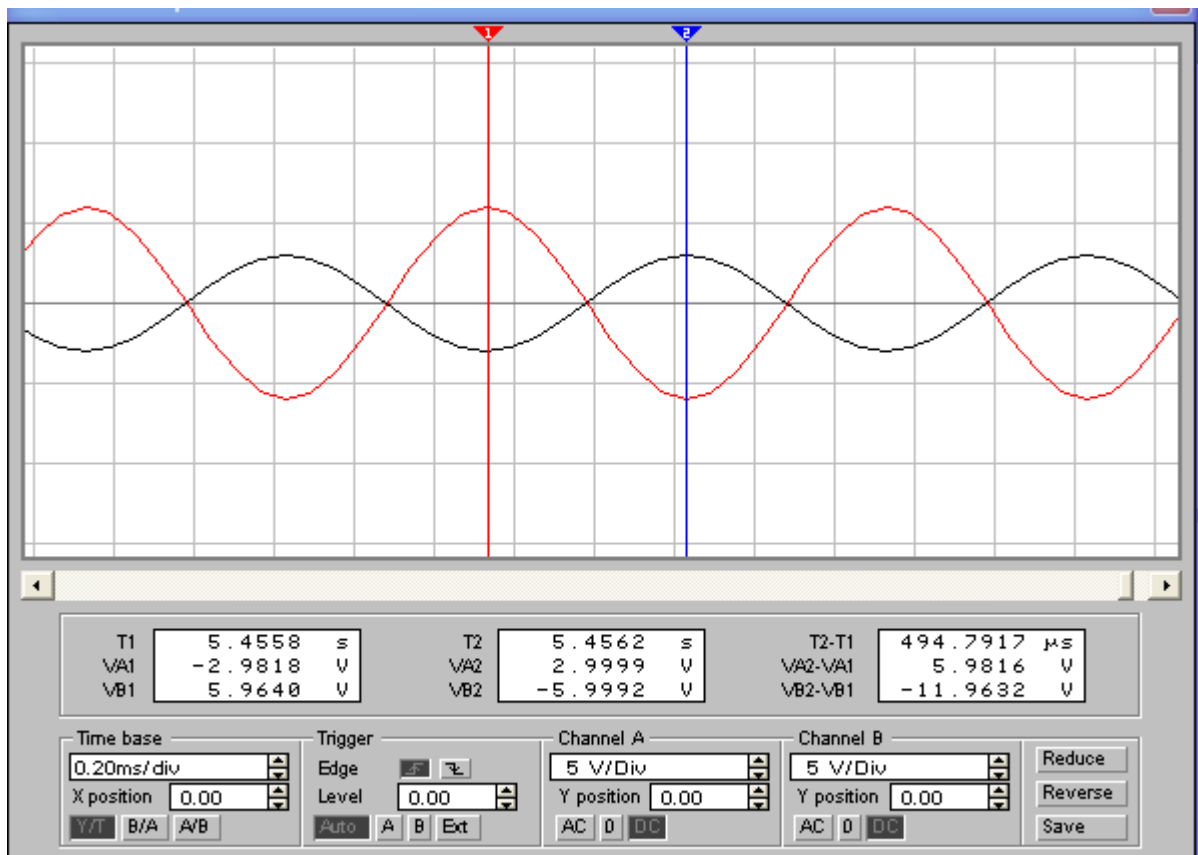


Рис. 9

Амплітуди $U_{m\text{вих}}$ і $U_{m\text{вх}}$ вимірюються на збільшеному екрані осцилографа (рис. 9) встановленням маркерів 1 і 2 на різнополярні амплітуди.

Подвоєні амплітуди сигналів можна відрахувати у правому віконці:

$$2U_{m\text{вх}} = VA2 - VA1,$$

$$2U_{m\text{вих}} = VB2 - VB1.$$

Коефіцієнт підсилення інвертуючого підсилювача дорівнює

Т а б л и ц я 1

R_1 , кОм	R_2 , кОм	$K_{\text{и}}$	
		Експ.	Розрах.
1			
1			

$$K_i = \frac{U_{\text{м вих}}}{U_{\text{м вх}}}$$

Результати вимірювань занесіть до табл. 1.

4.2.2. Накресліть в *масштабі* часову діаграму роботи інвертуючого підсилювача (зверху вхідна напруга, знизу – вихідна), звертаючи увагу на *фазу* сигналів.

4.2.3. Збільшіть опір R_2 вдвічі та повторіть маніпуляції за п. 4.2.1.

4.2.4. Зробіть висновки про вплив опорів резисторів на коефіцієнт підсилення.

4.3. Визначте коефіцієнт підсилення неінвертуючого підсилювача

4.3.1. Відкрийте файл “№ 2.2.2 ОП **неінв.**” (рис. 10).

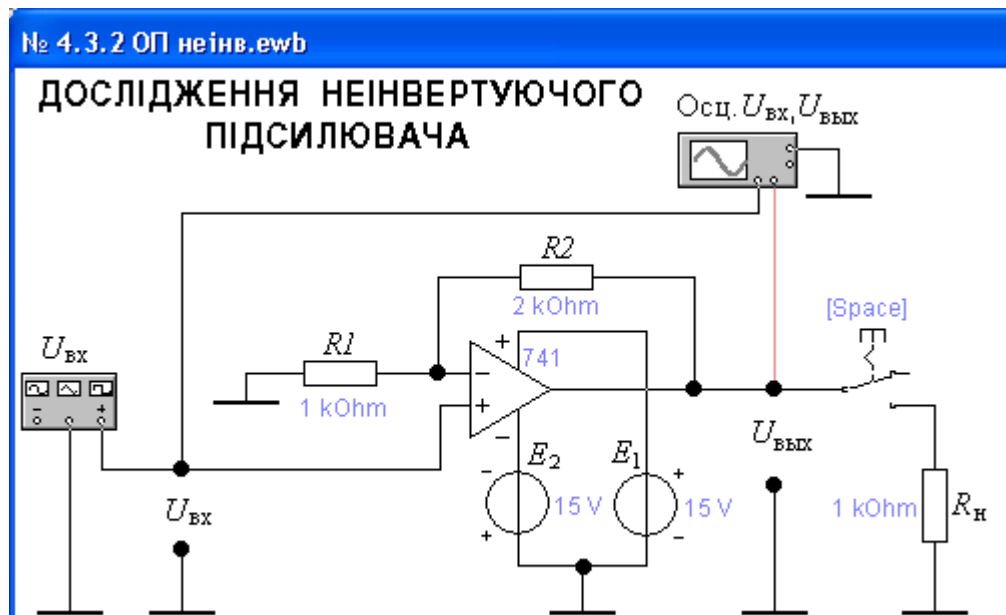


Рис. 10. Схема лабораторного стенда

4.3.2. Виконайте маніпуляції за п. 4.2 та визначте коефіцієнт підсилення.

Т а б л и ц я 2

Каскад	R_1 , кОм	R_2 , кОм	K	
			Експ.	Розр.
Інв.	1			
Неінв.	1			

$$K_{\text{н}} = \frac{U_{\text{м вих}}}{U_{\text{м вх}}}$$

Результати вимірювань занесіть до табл. 2.

4.3.3. Порівняйте K_i й $K_{\text{н}}$ та зробіть висновки про співвідношення їх величин.

4.4. Дослідіть вплив напруги живлення ОП на амплітуду вихідної напруги

4.4.1. Зменшіть напругу живлення E_1 і E_2 вдвічі (рис. 10), для чого:

– встановіть курсор на позначенні джерел живлення E_1 , потім E_2 й двічі клікніть лівою клавішею миші;

– встановіть $|E_1| = 7 \text{ В}$ и $|E_2| = 7 \text{ В}$.

4.4.2. Не змінюючи амплітуду вхідної напруги, накресліть в **масштабі** часову діаграму роботи інвертуючого підсилювача та зазначте на ній значення напруг живлення E_1 й E_2 .

4.4.3. Порівняйте отриману часову діаграму з діаграмою при повному значенні напруги живлення та зробіть висновки про співвідношення напруг живлення й амплітуди вихідної напруги **неспотвореного** сигналу.

4.5. Дослідіть здатність навантаження повторювача напруги

4.5.1. Відкрийте файл “№ 2.2.3 Повт.” (рис. 11).

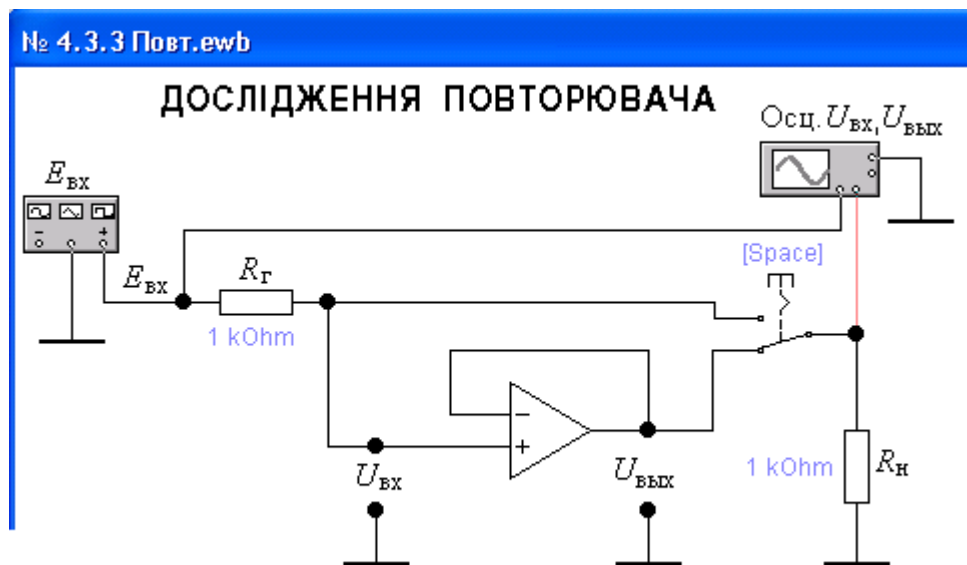


Рис. 11. Схема лабораторного стенда

4.5.2. Виконайте маніпуляції за п. 4.1.2 ... 4.1.7.

4.5.3. Підімкніть опір навантаження R_n до опору R_g , який є еквівалентним вихідним опором генератора, клавішею *Space* (верхнє положення).

4.5.4. Виміряйте амплітуду ЕРС генератора E_{BX} , вихідну напругу на опорі навантаження за методикою п. 4.2.1 й результати вимірювань занесіть до табл. 3.

4.5.5. Підімкніть опір навантаження R_n до виходу повторювача клавішею *Space* (нижнє положення).

4.5.6. Виміряйте амплітуду ЕРС генератора E_{BX} й вихідну напругу на опорі навантаження (виході повторювача) U_{VIX} і результати вимірювань занесіть до табл. 3.

4.5.7. Зробіть висновки про здатність навантаження повторювача.

Т а б л и ц я 3

$E_{BX}, \text{ В}$	$U_{VIX}, \text{ В}$	
	Генератор	Повторювач

5. Зміст протоколу

5.1. Виконання домашнього завдання

- 5.1.1. Схема дослідження інвертуючого підсилювача.
- 5.1.2. Схема дослідження неінвертуючого підсилювача.
- 5.1.3. Схема дослідження повторювача напруги.
- 5.1.4. Розрахунки за п. 3.5 і 3.6.
- 5.1.5. Форми табл. 1, 2 і 3.

5.2. Виконання лабораторного завдання

- 5.2.1. Табл. 1.
- 5.2.2. Часова діаграма роботи за п. 4.2.2.
- 5.2.3. Висновки за п. 4.2.4.
- 5.2.4. Табл. 2.
- 5.2.5. Висновки за п. 4.3.3.
- 5.2.6. Часова діаграма роботи за п. 4.4.2.
- 5.2.7. Висновки за п. 4.4.3.
- 5.2.8. Табл. 3.
- 5.2.9. Висновки за п. 4.5.7.

6. Контрольні запитання

- 6.1. Наведіть схему інвертуючого підсилювача та його коефіцієнт підсилення.
- 6.2. Наведіть схему неінвертуючого підсилювача та його коефіцієнт підсилення.
- 6.3. Наведіть схему повторювача напруги та його коефіцієнт підсилення.

Рекомендована література

- 1. Панфилов И.П., Савицкая М.П., Флейта Ю.В. Компонентная база радиоэлектронной аппаратуры: Учебное пособие, Модуль 2. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2013. – 192 с.
- 2. Воробьева Е.М., Иванченко В.Д. Основы схемотехники: конспект лекций. Ч. 2. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2012. – С. 64 – 67.
- 3. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: підручник / О.М. Воробйова, В.Д. Іванченко. – [2-е вид.]. – Одеса: Фенікс, 2009. – С. 167 – 171.
- 4. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: У 2-х частинах: навч. посіб. / О.М. Воробйова, В.Д. Іванченко. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова. 2004. – Частина I. – С. 145 – 171.

Лабораторна робота № 2.3

Дослідження транзисторного ключа

1. Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен уміти:

- 1.1. Складати схеми ключів.
- 1.2. Розраховувати та експериментально визначати коефіцієнт насичення.
- 1.3. Встановлювати необхідний коефіцієнт насичення транзистора.
- 1.4. Експериментально визначати тривалість перехідних процесів.
- 1.5. Експериментально визначати граничну частоту.
- 1.6. Експериментально визначати завадостійкість ключів.

2. Ключові положення

У схемі ключа транзистор використовується як електромеханічні контакти. У відкритому стані транзистор замикає коло, пропускаючи колекторний струм, а у закритому – він розриває коло, не пропускаючи струм. Через це через опір навантаження у колекторі струм або тече, або ні. Тому вихідна напруга має прямокутну форму.

В режимі відсічки обидва переходи транзистора (й емітерний, й колекторний) знаходяться під зворотною напругою, а в режимі насичення – під прямими.

В режимі насичення колекторний струм I_K практично не залежить від струму бази I_B й однозначно визначається опором колекторного навантаження

$$I_K = \frac{E_{KE} - U_{KE\text{нас}}}{R_K}, \quad (1)$$

де E_{KE} – напруга живлення колекторного кола;

$U_{KE\text{нас}}$ – напруга колектора в режимі насичення, яка не перевищує прямої напруги на $p-n$ -переході та наводиться у довідниках.

Щоб забезпечити мінімально необхідний для насичення струм I_K , через базу має протікати струм бази

$$I_{B1} = \frac{I_K}{h_{21E}}, \quad (2)$$

де h_{21E} – коефіцієнт передавання струму у схемі зі спільним емітером.

Отже I_{B1} – це такий найменший струм бази, який забезпечує насичення і є *границею* між режимами насичення та активним. Зменшення I_B порівняно з I_{B1} переводить транзистор до активного режиму і тому тут не розглядається, а збільшення I_B підвищує так званий *коефіцієнт насичення*

$$S = \frac{I_B}{I_{B1}}. \quad (3)$$

За $I_B = I_{B1}$ коефіцієнт насичення $S = 1$. На практиці ж використовують $I_B > I_{B1}$, тобто $S > 1$. Це пояснюється тим, що збільшення насичення підвищує завадостійкість ключа.

Однак, глибоке насичення поряд з підвищенням завадостійкості зменшує швидкодію ключа, через що знижується верхня границя частот, на яких може працювати ключ. Тому при виборі коефіцієнта насичення S треба приймати компромісне рішення.

У даній роботі визначається коефіцієнт насичення в залежності від струму бази.

Досліджується тривалість перехідних процесів та швидкодія ключа в залежності від коефіцієнта насичення. Визначається верхня границя частот, на яких може працювати ключ. Досліджується завадостійкість ключа в залежності від коефіцієнта насичення.

Схема дослідження ключа, наведена на рис. 2.1, дозволяє спостерігати вихідну напругу завади на осцилографі „Осц $U_{\text{пом}}$ ”, плавно змінювати струм бази I_B за допомогою змінного резистора R_{B1} з метою встановлення необхідного коефіцієнта насичення, змінювати коефіцієнт насичення за допомогою перемикача Π , оцінювати завадостійкість під час дії завад з напругою $U_{\text{пом}}$.

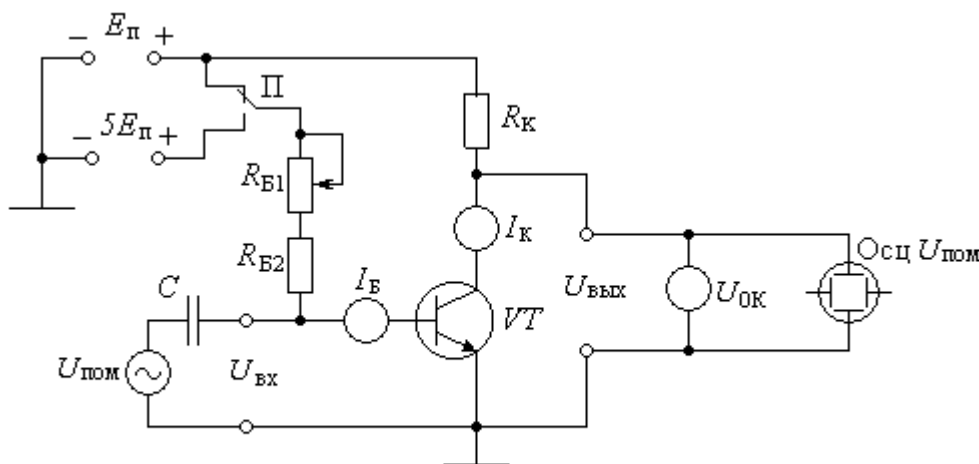


Рис. 1. Схема исследования транзисторного ключа

3. Домашнє завдання

3.1. Складіть схему дослідження ключа для визначення вихідної напруги завади, завадостійкості ключа та тривалості перехідних процесів в залежності від коефіцієнта насичення (струму бази).

3.2. Зіставте складену схему дослідження зі схемою лабораторного стенда, яка наведена у лабораторному завданні, й знайдіть на стенді всі елементи схеми.

3.3. Заготуйте форму табл. 1 і 2.

3.4. Підготуйте відповіді на контрольні запитання.

4. Лабораторне завдання

4.1. Налаштуйте лабораторний стенд

4.1.1. Відкрийте файл “ 2.3. Ключ стат”. (рис. 2).

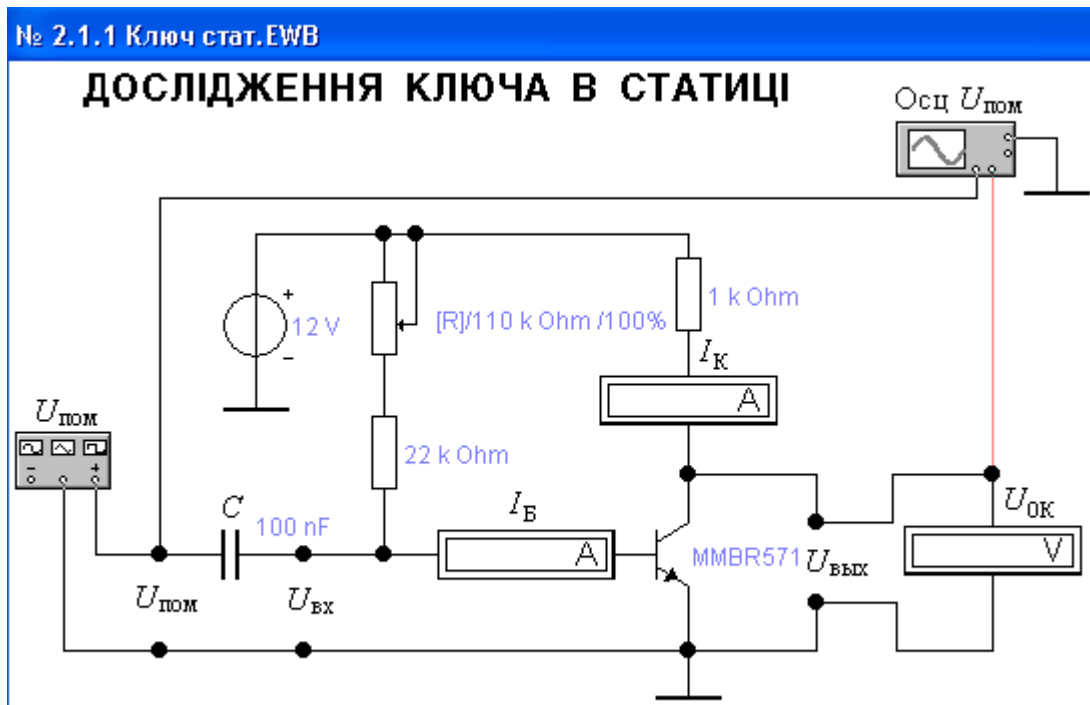


Рис. 2. Схема лабораторного стенда

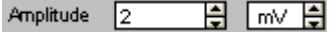
4.1.2. Увімкніть стенд встановленням курсору на тумблер  і кліком лівої клавiшi мишi.

4.1.3. Розкрийте осцилограф встановленням курсору на позначенні „Осц” ф подвійним кліком лівої клавiшi мишi. На екрані будуть мерехтiти два променя: чорний – для вхiдного сигналу і червоний – для вихiдного.

4.1.4. Розкрийте генератор завади встановленням курсору на позначенні $U_{\text{пом}}$ і подвійним кліком лівої клавiшi мишi. Відкриється передня панель генератора (рис. 3).

4.1.5. Встановіть синусоїдальну форму завади клавiшею .

4.1.6. У вікні  встановіть розмірність MHz й частоту завади 1 MHz .

4.1.7. У вікні  встановіть розмірність mV й амплітуду завади 2 mV .

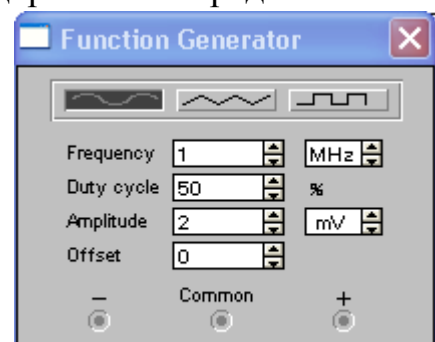


Рис. 3

УВАГА!

Після роботи з осцилографом або генератором (рис. 2) не діє жодна клавiша. Для уведення в дію клавiшi слід встановити курсор поза межами осцилографа й генератора та клікнути лівою клавiшею мишi. Клавiшi почнуть діяти.

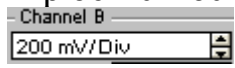
4.2. Дослідіть вплив струму бази $I_{\text{б}}$ на струм колектора $I_{\text{к}}$, коефіцієнт насичення S , постійну вихідну напругу $U_{\text{ок}}$ й амплітуду завади $U_{\text{т пом}}$.

4.2.1. Зніміть залежності струму колектора I_K , коефіцієнта насичення S , постійної вихідної напруги U_{OK} й амплітуди завади $U_{т\text{ пом}}$ від струму бази I_B , змінюючи його за допомогою резистора R . Зменшення опору R здійснюється натисненням клавіші R , а збільшення – одночасним натисненням клавіш $Shift$ і R .

Т а б л и ц я 1

Дослідження ключа

I_B , мкА	S	I_K , мА	U_{OK} , В	$U_{т\text{ пом}}$, В
100	1			
200				
300				
400				
500				

Струми I_B , I_K та постійна вихідна напруга U_{OK} вимірюються однойменними пристроями. Амплітуда завади $U_{т\text{ пом}}$ вимірюється осцилографом з ціною поділки . Результати вимірювань занесіть до табл. 1.

4.2.2. Зробіть висновки про вплив коефіцієнта насичення S на струм колектора I_K , постійну вихідну напругу U_{OK} та амплітуду завади $U_{т\text{ пом}}$.

4.3. Дослідіть вплив коефіцієнта насичення на тривалість перехідних процесів

4.3.1. Відкрийте файл “2.3. Ключ дин” (рис. 4).

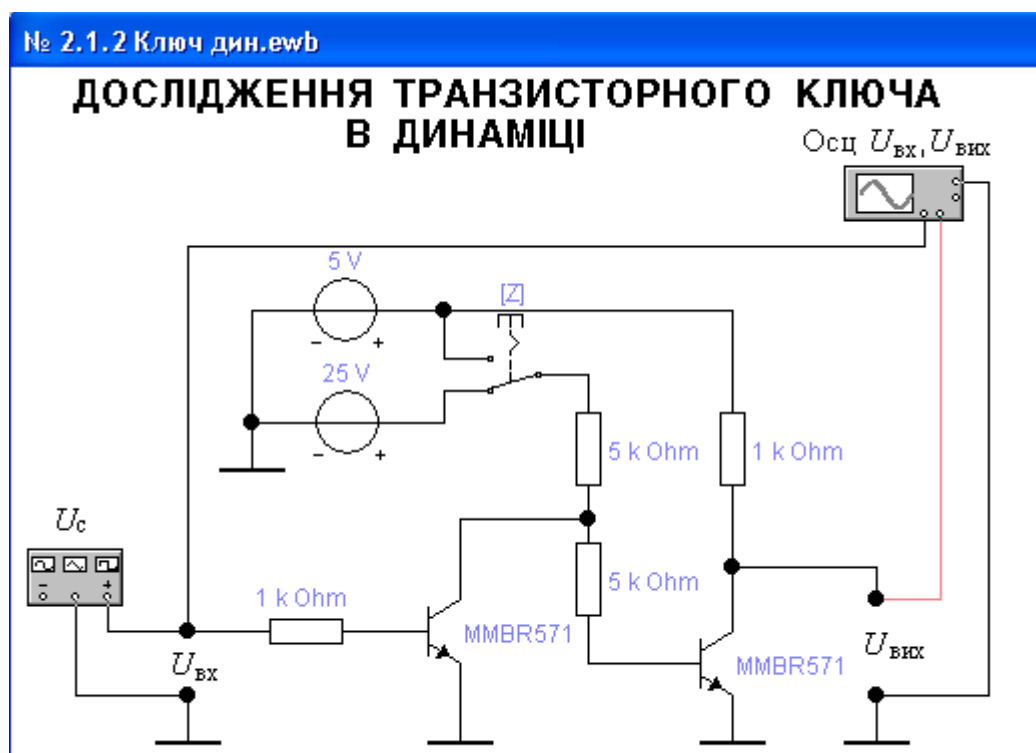


Рис. 4. Схема лабораторного стенда

4.3.2. Розкрийте осцилограф та генератор U_c за методикою п. 4.1.3 й 4.1.4.

4.3.3. Оберіть сигнал прямокутної форми клавішею  (рис. 5).

4.3.4. У вікні Frequency 1 MHz генератора встановіть розмірність MHz та частоту вхідної напруги 1 MHz (рис. 5).

4.3.5. У вікні Amplitude 2.5 V для отримання однополярної вхідної напруги встановіть розмі-

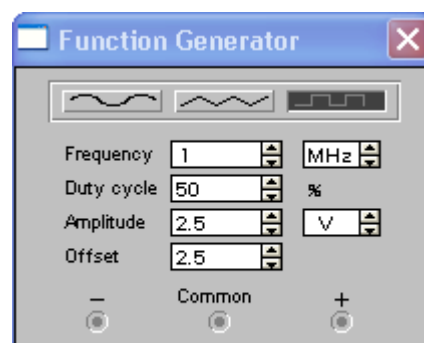


Рис. 5

рність V , амплітуду вхідної напруги 2,5 В і постійну напругу 2,5 В у віконці Offset 2.5 (рис. 5).

4.3.6. Встановіть найменше значення коефіцієнта насичення S_1 , підключивши джерело напруги живлення 5 В клавішею Z.

4.3.7. Наведіть часову діаграму роботи із дотриманням часового масштабу (зверху вхідна напруга, знизу – вихідна).

Для витримки масштаба рекомендується забезпечити нерухоме зображення наступними діями:

- зупиніть зображення клавішею *Pause*;
- збільшіть зображення клавішею *Expand* на осцилографі;
- розгорніть зображення на увесь екран горизонтальною прокруткою (рис. 6);
- встановіть лише один період сигналу на всьому екрані часу розгортки

Time base;

- встановіть маркер 1 на початок висхідного фронту, а маркер 2 – на кінець перехідного процесу;

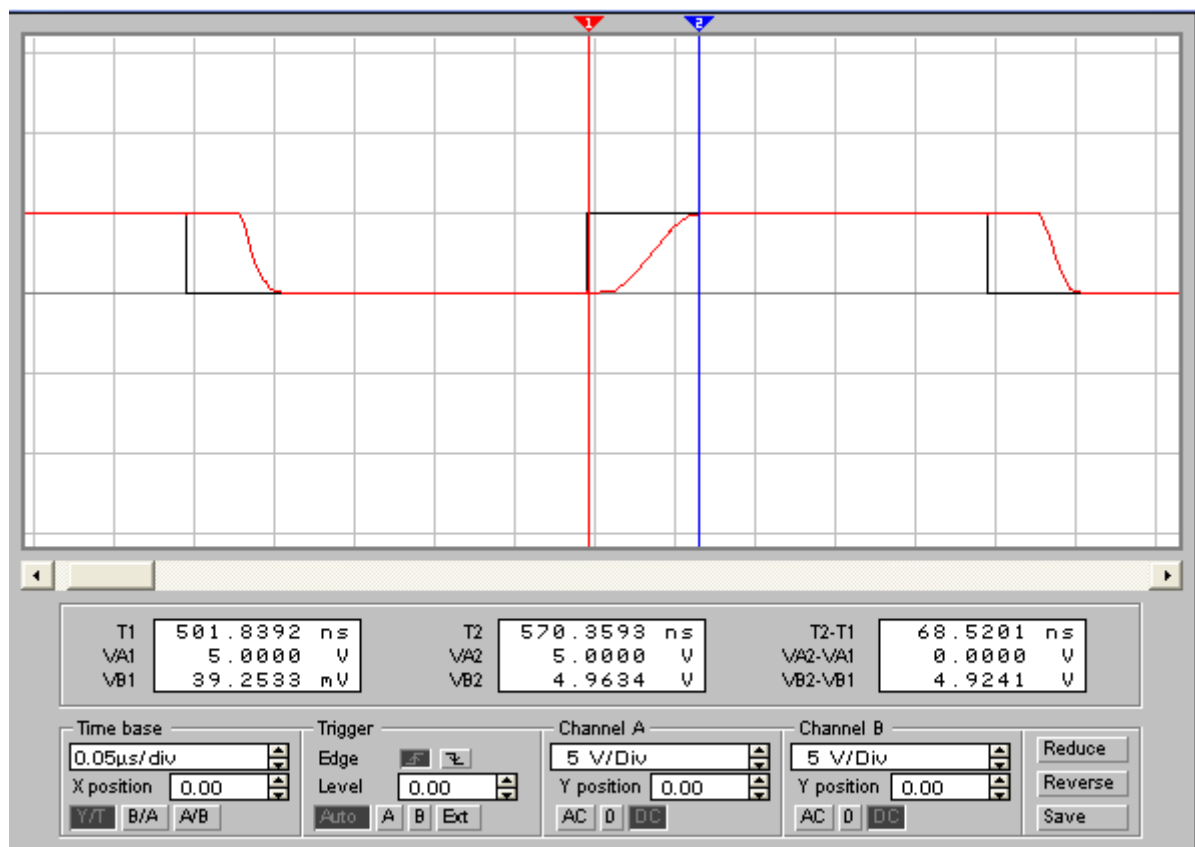


Рис. 6

- тривалість перехідного процесу $\tau = T_2 - T_1$ відраховується у правому віконці.

4.3.8. Визначте граничну частоту $f_{гр}$, яка відповідає насиченню S_1 , для чого збільшіть частоту у віконці Frequency 1 MHz до того значення, доки тривалість τ не співпадає з тривалістю імпульсу (рис. 7). Щоб сигнал зберігав прямокутну форму, необхідно після кожного встановлення частоти вимкнути, а потім знову увімкнути стенд тумблером

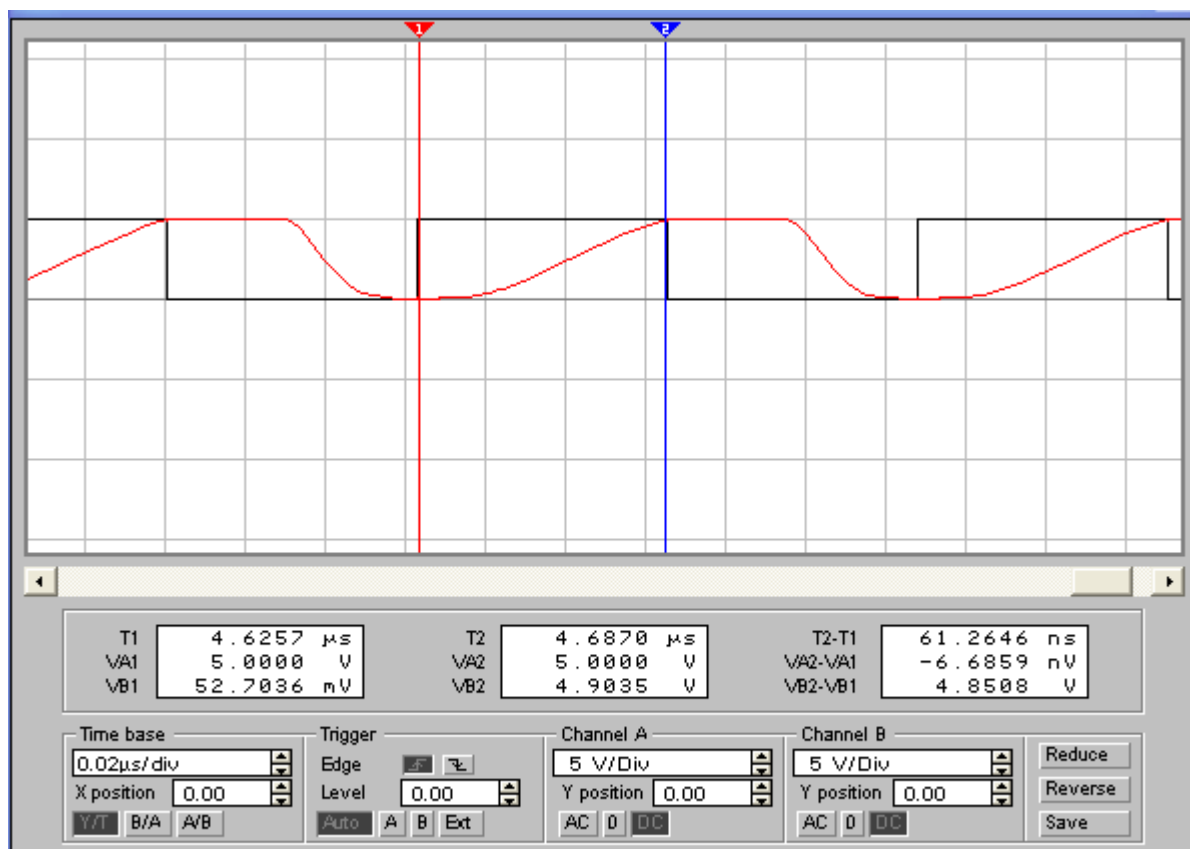


Рис. 7

4.3.9. Виміряйте тривалість перехідного процесу τ та визначте граничну частоту f_{gr} діями за методикою п. 4.3.7.

Тривалість перехідного процесу $\tau = T_2 - T_1$ визначена у правому віконці (рис. 4.6), а частота f_{gr} зазначена у віконці Frequency 1 MHz (рис. 5).

Т а б л и ц я 2

S	τ , нс	f_{gr} , МГц
S_1		
$5 S_1$		

Результати вимірювань занесіть до табл. 2.

4.3.10. Збільшіть коефіцієнт насичення у 5 разів, підімкнувши джерело напруги живлення 25 В клавішею Z та повторіть вимірювання за п. 4.3.9.

4.8.11. Зробіть висновки про вплив коефіцієнта насичення на тривалість перехідного процесу й граничну частоту.

5. Зміст протоколу

5.1. Виконання домашнього завдання

5.1.1. Схема дослідження ключа за п. 3.1.

5.1.2. Форми табл. 1 і 2.

5.2. Виконання лабораторного завдання

5.2.1. Табл. 1.

5.2.2. Висновки за п. 4.2.2.

5.2.3. Часова діаграма роботи за п. 4.3.7.

5.2.4. Табл. 2.

5.2.5. Висновки за п. 4.3.11.

6. Контрольні запитання

- 6.1. Наведіть схему ключа на біполярному транзисторі.
- 6.2. Наведіть часову діаграму роботи ключа.
- 6.3. Поясніть вплив коефіцієнта насичення на вихідну напругу ключа.
- 6.4. Поясніть вплив коефіцієнта насичення на завадостійкість ключа.
- 6.5. Поясніть вплив коефіцієнта насичення на тривалість перехідного процесу та граничну частоту.
- 6.6. Поясніть, чому ключ має високий ККД.

Рекомендована література

1. Панфилов И.П., Савицкая М.П., Флейта Ю.В. Компонентная база радио-электронной аппаратуры: Учебное пособие, Модуль 1. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2012. – 180 с.
2. Воробьева Е.М., Иванченко В.Д. Основы схемотехники: конспект лекций. Ч. 1. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2011. – С. 126 – 131.
3. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: підручник / О.М. Воробйова, В.Д. Иванченко – [2-е вид.]. – Одеса: Фенікс, 2009. – С. 126 – 131.
4. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: У 2-х частинах: навч. посіб. / О.М. Воробйова, В.Д. Иванченко. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова. 2004. – Частина I. – С. 104 – 110.

Лабораторна робота № 2.4

Дослідження логічних елементів

1. Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен уміти:

- 1.1. Підключати логічні елементи.
- 1.2. Досліджувати логічні елементи.
- 1.3. Визначати функції логічних елементів.

2. Ключові положення

Базовими логічними операціями є:

- НІ – функція логічного заперечення або інверсії: $y = \bar{x}$;
- І – функція логічного множення: $y = x_1 * x_2 = x_1 \wedge x_2$;
- АБО – функція логічного додавання $y = x_1 + x_2 = x_1 \vee x_2$

З цих функцій можуть бути отримані їх комбінації. Зазначені функції реалізуються однойменними логічними елементами. У даній роботі досліджуються логічні елементи НІ, І, І-НІ, АБО, АБО-НІ.

На рис. 1 наведено схему дослідження зазначених логічних елементів.

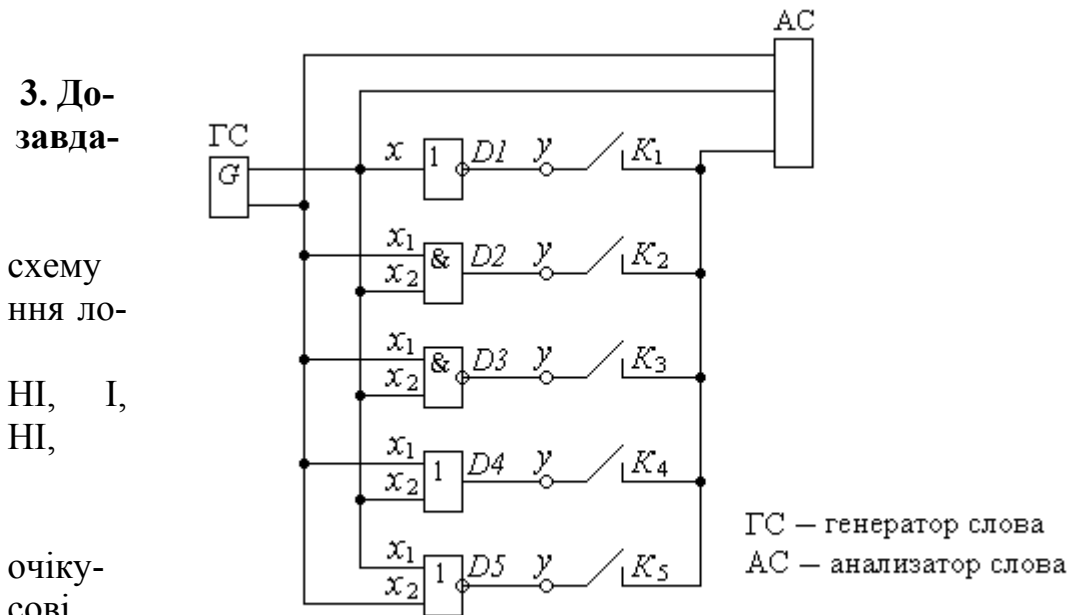


Рис. 1. Схема исследования логических элементов

машинне ння

3.1.
Складіть
дослідже-
гічних
елементів:
АБО, І-
АБО-НІ.

3.2.
Наведіть
вані ча-
діаграми
логічних
елементів

за п. 3.1 (зверху входні напруги, знизу – вихідна напруга). Розміщення епюр входних та вихідної напруг на різних сторінках або у різних стовпцях не допускається.

3.3. Зіставте складену схему дослідження зі схемою лабораторного стенда, яка наведена у лабораторному завданні, та знайдіть на стенді всі елементи складеної схеми.

4. Лабораторне завдання

4.1. Налаштуйте стенд

4.1.1. Відкрийте файл “№ 2.2 Логіка” (рис. 2).

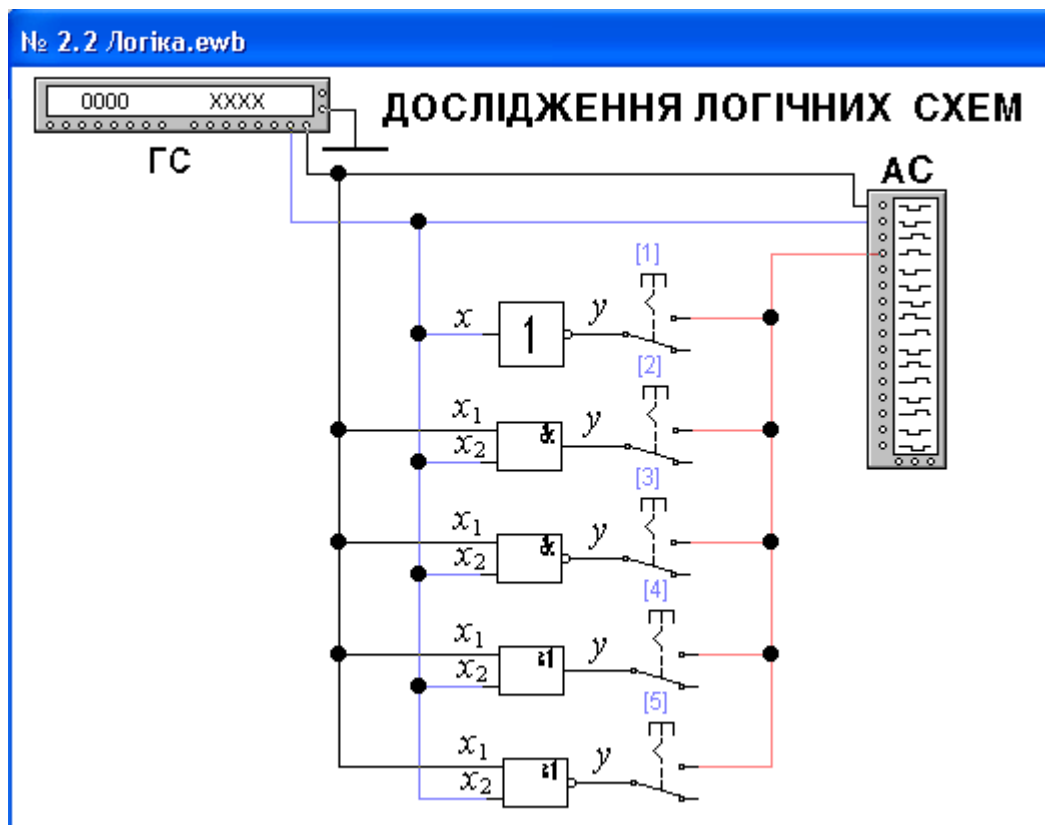


Рис. 2. Схема лабораторного стенда

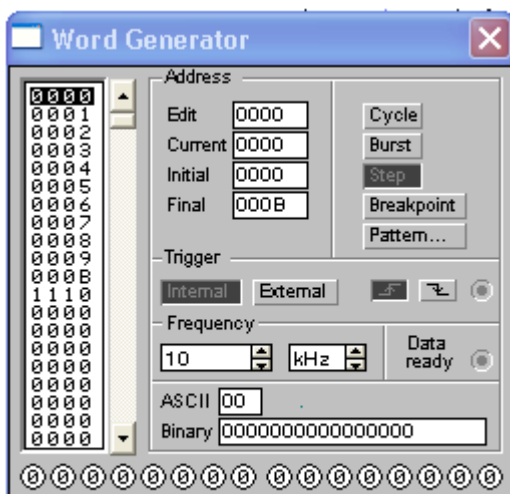


Рис. 3

4.1.2. Увімкніть стенд встановленням курсору на тумблер  і кліком лівої клавіші миші.

4.1.3. Розімкніть усі ключі [1], [2], [3], [4] й [5] однойменними клавішами.

4.1.4. Розкрийте генератор слова ГС та логічний аналізатор слова АС встановленням курсору на їх позначенні (рис. 2) і подвійним кліком лівої клавіші миші. Відкриються їх вікна (рис. 3 і 4).

4.1.5. Переконайтесь у тому, що дані налаштувань генератора та аналізатора збігаються з наведеними на рис. 3 і 4.

В іншому випадку сповістіть викладача.

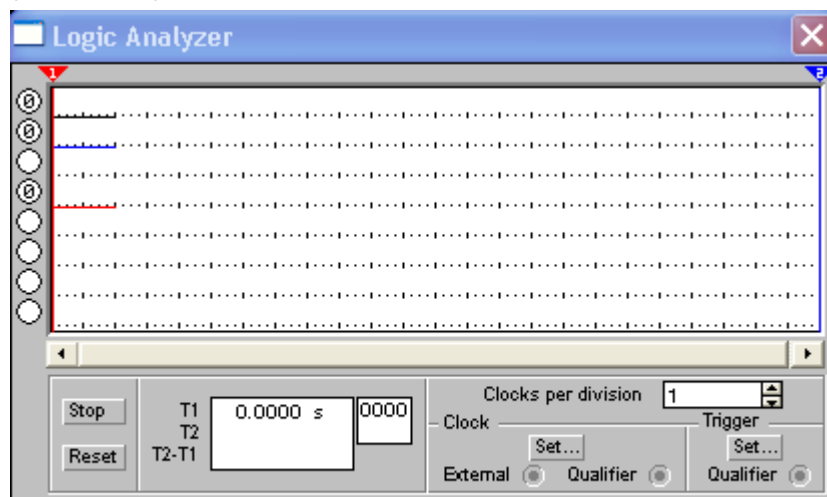


Рис. 4

4.2. Дослідіть роботу логічних елементів

4.2.1. Підімкніть вихід чергового досліджуваного логічного елемента до входу аналізатора відповідною клавішею:

- [1] – функція НІ;
- [2] – функція І;
- [3] – функція І-НІ;
- [4] – функція АБО;
- [5] – функція АБО-НІ.

4.2.2. Подайте сигнал до входів логічного елемента циклічним натисненням кнопки *Step* до переміщення чорної мітки у лівому вікні генератора на слово 000В та появи при цьому осцилограм, які наведено на рис. 5.

4.2.3. Наведіть часову діаграму роботи досліджуваного логічного елемента, складіть таблицю істинності та визначіть функцію, яка виконується.

4.2.4. Розімкніть усі ключі [1], [2], [3], [4] й [5] однойменними клавішами.

4.2.5. Повторіть маніпуляції за п. 4.2.1 – 4.2.3 для чергового елемента.

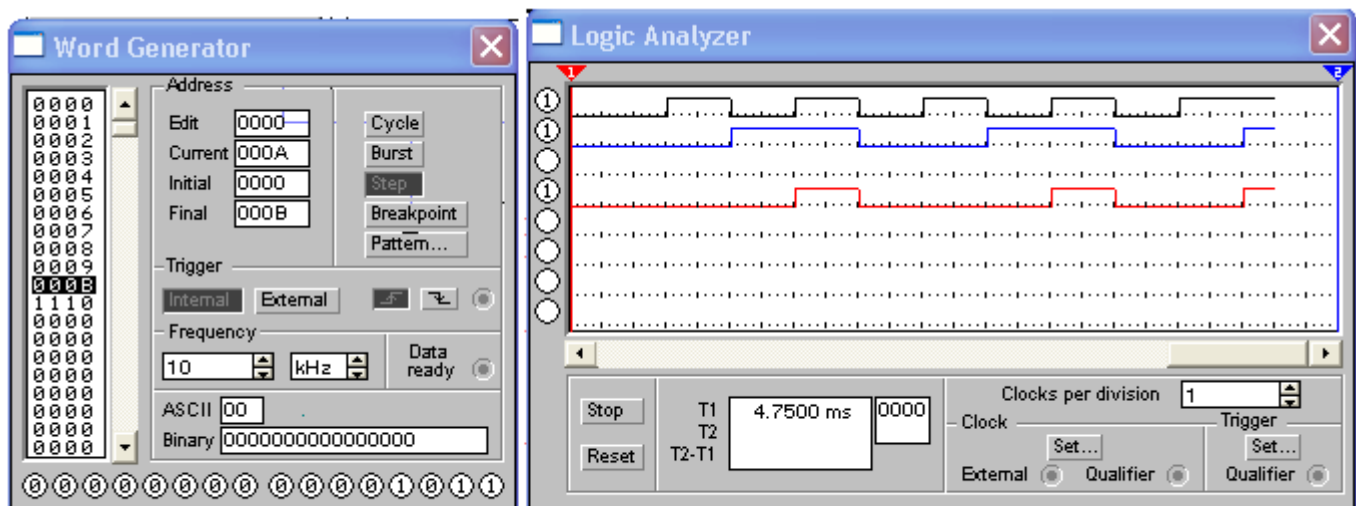


Рис. 5

4.2.6. Зробіть висновки про логічні функції, які виконують досліджувані елементи.

5. Зміст протоколу

5.1. Виконання домашнього завдання

5.1.1. Схема дослідження за п. 3.1.

5.1.2. Очікувані часові діаграми роботи за п. 3.2.

5.2. Виконання лабораторного завдання

5.2.1. Часові діаграми роботи і таблиці істинності за п. 4.2.3.

5.2.2. Висновки за п. 4.2.6.

6. Контрольні запитання

6.1. Поясніть операції, які виконують логічні елементи НІ, І, АБО, І-НІ, АБО-НІ.

6.2. Наведіть схему базового елемента ТТЛ.

6.3. Наведіть схему базового елемента КМОН-логіки.

Рекомендована література

1. Панфилов И.П., Савицкая М.П., Флейта Ю.В. Компонентная база радио-электронной аппаратуры: Учебное пособие, Модуль 2. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2013. – 192 с.
2. Воробьева Е.М., Иванченко В.Д. Основы схемотехники: конспект лекций. Ч.1. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2011. – С. 141 – 169.
3. Воробйова О.М. Основи схемотехніки: підручник / О.М. Воробйова, В.Д. Іванченко. – [2-е вид.]. – Одеса: Фенікс, 2009. – С. 204 – 227.
4. Воробйова О.М. Основи схемотехніки: У 2-х частинах: навч. посіб. / О.М. Воробйова, В.Д. Іванченко. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова. 2004. – Частина I. – С. 191 – 215.

Лабораторна робота 2.5

Дослідження елементів оптоелектронних мікросхем

1. Мета роботи

Вивчення принципу дії, схем включення, властивостей, параметрів та характеристик основних елементів оптоелектронних мікросхем - світло- і фотодіодів.

2. Ключові положення

Світлодіод – це прилад на основі *p-n* переходу, який за прямої напруги зміщення може випромінювати спонтанне випромінювання в ультрафіолетовій, видимій або інфрачервоній областях електромагнітного спектру. Світлодіоди видимого діапазону використовують в якості індикаторів, а інфрачервоного - в оптронах та оптичних системах передавання.

Основними характеристиками світлодіодів, які необхідно знати для їх практичного застосування, є:

- 1) спектральна характеристика (розподіл потужності випромінювання за довжинами хвиль);
- 2) температурна характеристика (залежність потужності випромінювання від температури);
- 3) вольт-амперна (ВАХ) (залежність струму через діод від прикладеної до нього напруги);
- 4) ватт-амперна (залежність потужності випромінювання від струму навантаження);
- 5) модуляційно-частотна (залежність потужності випромінювання від частоти модульованого сигналу).

Фотодіод – це напівпровідниковий діод, в якому під дією падаючого на нього світлового потоку виникають рухомі носії заряду, які створюють додатковий струм через зворотно зміщений *p-n* перехід.

Для оцінки технічних властивостей та ефективності застосування фотодіодів використовують наступні параметри і характеристики:

- 1) Чутливість – (відношення приросту фотосигналу до приросту оптичної потужності, характеризує відгук фотодіода на оптичний сигнал);
- 2) спектральна характеристика (залежність фотоструму від довжини хвилі випромінювання, яке приймається);
- 3) частотна характеристика (залежність фотоструму від частоти модуляції оптичного випромінювання);
- 4) енергетична або світлова характеристика (залежність фотоструму від потужності оптичного сигналу);
- 5) Навантажувальна характеристика (залежність відгуку від опору навантаження).

Можливі два режими роботи фотодіода – фотовольтаїчний та фотодіодний. За фотовольтаїчного режиму фотодіод працює без зміщення і є генератором фотоЕРС. Фотодіодний режим вимагає джерела зворотного зміщення. Фотодіод у цьому режимі є генератором фотоструму, має вели-

кий внутрішній опір, й фотострум у цьому режимі практично не залежить від опору навантаження. Внутрішній опір фотодіода у фотовольтаїчному режимі суттєво залежить від рівня оптичного сигналу, тому й струмовий відгук значно залежить від опору навантаження.

Схема дослідження світлодіода для зняття ВАХ наведена на рис. 1.

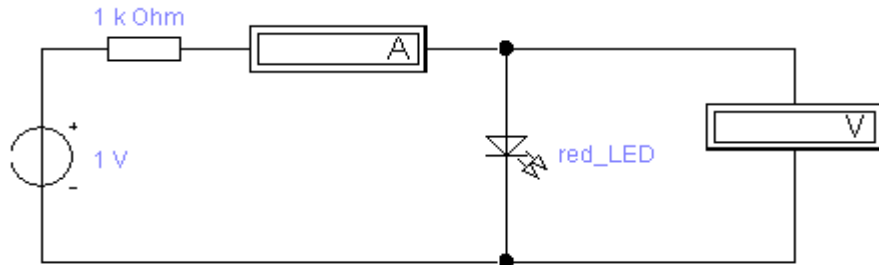


Рис. 1

У лабораторній роботі дослідження модуляційної та ватт-амперної характеристик світлодіода, частотної та навантажувальної характеристик фотодіода проводиться за допомогою їх еквівалентних схем. Схеми дослідження цих характеристик наведено відповідно на рис. 2 і рис. 3.

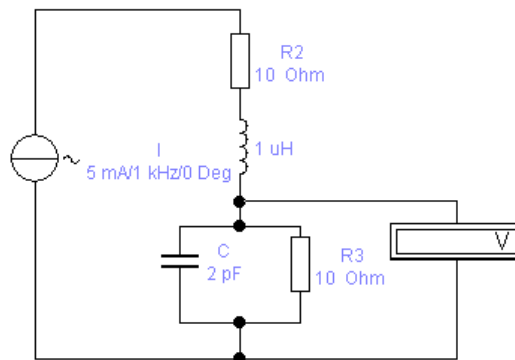


Рис. 2

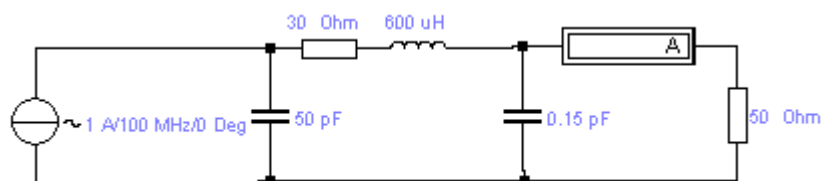


Рис. 3

3. Домашнє завдання

3.1. Вивчіть згідно з рекомендованою літературою пристрій, принцип дії, основні параметри й характеристики світло- та фотодіодів.

3.2. Складіть схему дослідження світлодіода для зняття ВАХ, ватт-амперної й модуляційно-частотної характеристик. Наведіть очікувані графіки цих характеристик.

3.3. Складіть схему дослідження фотодіода для зняття частотної та навантажувальної характеристик. Наведіть очікувані графіки цих характеристик.

3.4. Підготуйте відповіді на контрольні запитання.

4. Лабораторне завдання

4.1. Відкрийте файл „№ 2.5. Оптич. МС”.

4.2. Увімкніть стенд встановленням курсору на тумблер  і кліком лівої клавіші миші.

4.3. Порівняйте складену схему дослідження з лабораторним макетом та знайдіть на ньому джерело живлення й вимірювальні прилади.

4.4. Змінюючи напругу джерела живлення $E_{\text{ж}}$ та відраховуючи прямий струм $I_{\text{пр}}$ та пряму напругу $U_{\text{пр}}$, зніміть пряму гілку ВАХ червоного світлодіода, відкладаючи зняті показання безпосередньо на графік прямої області ВАХ $I_{\text{пр}} = f(U_{\text{пр}})$. Визначте диференціальний опір світлодіода у середній точці характеристики.

4.5. Зніміть модуляційну характеристику світлодіода – залежність потужності випромінювання від частоти модульованого сигналу. Встановіть значення струму інжекції рівним $I_{\text{інж}} = 10$ мА. Змінюючи частоту струму інжекції, виміряйте за допомогою вольтметра напругу, яка прикладена до p - n переходу. Результати вимірювань занесіть до табл. 2. За результатами вимірювань розрахуйте потужність за формулою $P = I_{\text{інж}} U_{\text{пр}}$ та побудуйте графік модуляційної характеристики.

Таблиця 2

Модуляційна характеристика світлодіода

f , МГц	10	100	500	1000	3000	5000	7000	9000
$U_{\text{пр}}$, В								
P , Вт								

4.6. Зніміть ватт-амперну характеристику світлодіода – залежність потужності випромінювання від струму накачування. Встановіть частоту струму інжекції 1 кГц. Змінюючи значення струму інжекції, виміряйте за допомогою вольтметра напругу, яка прикладена до p - n переходу. Результати вимірювань занесіть до табл. 3. За результатами вимірювань розрахуйте потужність за формулою $P = I_{\text{інж}} U_{\text{пр}}$ та побудуйте графік ватт-амперної характеристики.

Таблиця 3

Ватт-амперна характеристика світлодіода

$I_{\text{інж}}$, мА	1	5	10	15	20	25	30	35
$U_{\text{пр}}$, В								
P , Вт								

4.7. Зніміть частотну характеристику фотодіода – залежність фотоструму від частоти модуляції оптичного випромінювання. Встановіть значення струму джерела струму $I_{\text{ф}} = 1$ А, опір навантаження $R_{\text{н}} = 50$ Ом. Змінюючи частоту дже-

рела струму, виміряйте за допомогою амперметра значення фотоструму на виході фотодіода. Результати вимірювань занесіть до табл. 4.

Таблиця 4

Частотна характеристика фотодіода

f , МГц	10	20	30	40	50	60	70	80	90
I_{ϕ} , А									

За результатами вимірювань побудуйте графік частотної характеристики фотодіода.

4.8. Зніміть навантажувальну характеристику фотодіода – залежність фотоструму від опору навантаження. Встановіть частоту джерела струму 50 МГц. Змінюючи опір навантаження, виміряйте за допомогою амперметра значення фотоструму на виході фотодіода. Результати вимірювань занесіть до табл.5.

Таблиця 5

Навантажувальна характеристика фотодіода

R_n , Ом	50	100	200	300	400	500	600	700	800
I_{ϕ} , А									

За результатами вимірювань побудуйте графік навантажувальної характеристики фотодіода.

5. Зміст протоколу

5.1. Виконання домашнього завдання

5.1.1. Схеми дослідження за п. 3.2 і 3.3.

5.1.2. Очікувані характеристики за п. 3.2 і 3.3.

5.1.3. Форми табл. 2...5.

5.2. Виконання лабораторного завдання

5.2.1. ВАХ світлодіода за п. 4.1.

5.2.2. Модуляційна характеристика світлодіода за п. 4.3.

5.2.3. Ватт-амперна характеристика світлодіода за п. 4.4.

5.2.4. Частотна характеристика фотодіода за п.4.6.

5.2.5. Навантажувальна характеристика фотодіода за п. 4.7.

6. Контрольні запитання

6.1. Поясніть пристрій та принцип дії світлодіода.

6.2. Поясніть, від чого залежить колір свічення світлодіода?

6.3. Дайте визначення модуляційної характеристики світлодіода та поясніть її вигляд.

6.4. Дайте визначення ватт-амперної характеристики світлодіода та поясніть її вигляд.

6.5. Наведіть еквівалентну схему світлодіода та поясніть призначення елементів, які до не входять.

6.6. Поясніть пристрій та принцип дії фотодіода.

6.7. Дайте визначення частотної характеристики фотодіода та поясніть її вигляд.

6.8. Дайте визначення навантажувальної характеристики фотодіода та поясніть її вигляд.

6.9. Назвіть режими роботи фотодіода.

6.10. Наведіть еквівалентну схему фотодіода та поясніть призначення елементів, які до неї входять.

Рекомендована література

1. Панфилов И.П., Савицкая М.П., Флейта Ю.В. Компонентная база радио-электронной аппаратуры: Учебное пособие, Модуль 2. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2013. – 192 с.

2. Воробьева Е.М., Иванченко В.Д. Основы схемотехники: конспект лекций. Ч.2. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2012. – С. 113 – 125.

3. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: підручник / О.М. Воробйова, В.Д. Иванченко – [2-е вид.]. – Одеса: Фенікс, 2009. – С. 353 – 361.

4. Батушев В.А. Электронные приборы.- М.: Высшая школа, 1980. – 383 с.

5. Дулин В.Н. Электронные приборы. – М.: Энергия, 1977. – 424 с.

Факультативні роботи
Лабораторна робота №Ф 1
Дослідження діодних схем

1. Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен уміти:

- 1.1. Скласти схеми однонапівперіодного випрямляча з трансформаторним входом.
- 1.2. Визначати та змінювати коефіцієнт трансформації.
- 1.3. Експериментально визначати амплітуди випрямленої, прямої та зворотної напруг у схемі випрямляча.
- 1.4. Змінювати полярність випрямленої напруги.
- 1.5. Розраховувати середнє значення (постійну складову) вихідної напруги.

2. Ключові положення

Трансформатор призначений для перетворення рівня змінної напруги. Він містить первинну та вторинну обмотки. Первинна обмотка є вхідною, а вторинна – вихідною.

Основним параметром трансформатора є коефіцієнт трансформації N , який визначається відношенням числа витків W_2 вторинної обмотки до числа витків W_1 первинної:

$$N = \frac{W_2}{W_1}. \quad (1)$$

Амплітуда напруги вторинної обмотки трансформатора обчислюється за формулою:

$$U_{m2} = U_{m1} N, \quad (2)$$

де U_{m1} – амплітуда напруги первинної обмотки;

N – коефіцієнт трансформації.

У схемах випрямлячів частіше за все використовується понижуючий трансформатор, у якого число витків W_2 вторинної обмотки менше числа витків W_1 первинної. У цьому випадку $U_{m2} < U_{m1}$, тобто $N < 1$.

Напруга вторинної обмотки трансформатора є вхідною напругою випрямляча.

Випрямляч призначений для перетворення біполярної напруги в однополярну. Найпростішим є однонапівперіодний випрямляч, який являє собою ділник напруги, у верхньому плечі якого діод, а у нижньому – опір навантаження, що живиться вихідною випрямленою напругою.

Амплітуда вихідної напруги випрямляча менша амплітуди вхідної на величину прямої напруги на діоді:

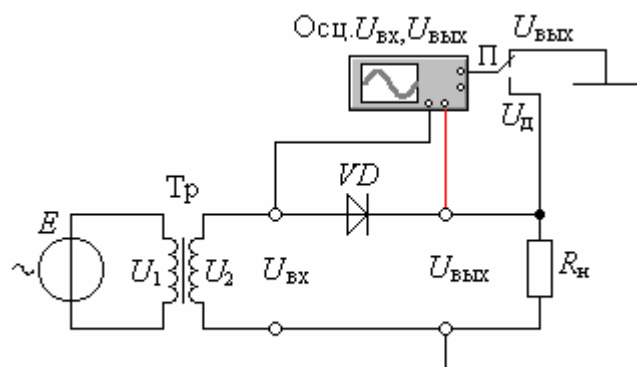


Рис. 1. Схема исследования выпрямителя

$$U_{\text{твих}} = U_{\text{твх}} - U_{\text{тпр}}, \quad (3)$$

де $U_{\text{тпр}}$ – амплітуда прямої напруги на діоді.

Амплітуда зворотної напруги $U_{\text{тобр}}$ діода дорівнює амплітуді вхідної напруги.

3. Домашнє завдання

3.1. Наведіть схеми однонапівперіодного випрямляча з трансформаторним входом для отримання випрямленої позитивної та негативної напруг.

3.2. Наведіть часову діаграму роботи випрямляча, тобто епюри напруг: вхідної $U_{\text{вх}}$, на діоді $U_{\text{д}}$ та вихідної $U_{\text{вих}}$.

3.3. Розрахуйте напругу $U_{\text{м2}}$ вторинної обмотки трансформатора за напруги первинної обмотки $U_{\text{м1}} = 220 \text{ В}$ й коефіцієнті трансформації $N = \frac{1}{30}$.

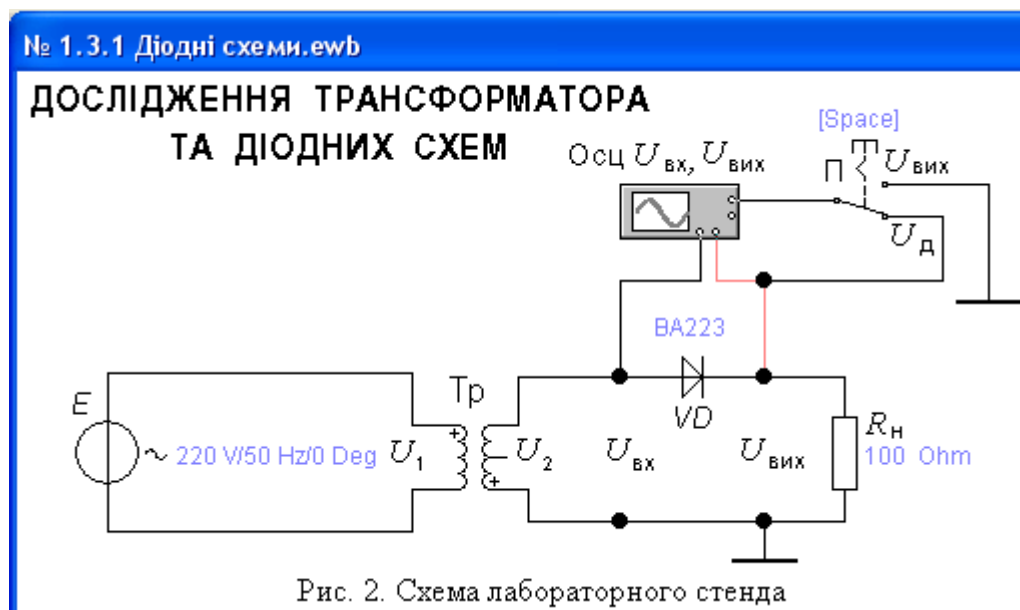
3.4. Розрахуйте амплітуду вихідної напруги $U_{\text{твих}}$ однонапівперіодного випрямляча, якщо амплітуда прямої напруги на діоді складає $U_{\text{тпр}} = 0,7 \text{ В}$.

3.5. Підготуйте відповіді на контрольні запитання.

4. Лабораторне завдання

4.1. Налаштуйте стенд

4.1.1. Відкрийте файл “№ Ф.1. Діодные схемы” (рис. 2).



4.1.2. Порівняйте складену схему зі схемою лабораторного стенда (рис. 2).

4.1.3. Встановіть напругу $E = 220$ В встановленням курсору на умовному позначенні джерела напруги E (рис. 4.1) і подвійним кліком лівої клавіші миші. Відкриється панель (рис. 3), у відповідних віконцях якої необхідно встановити напругу 220 В і частоту 50 Гц та підтвердити це кнопкою ОК.

4.1.4. Встановіть коефіцієнт трансформації 1/30 встановленням курсору на

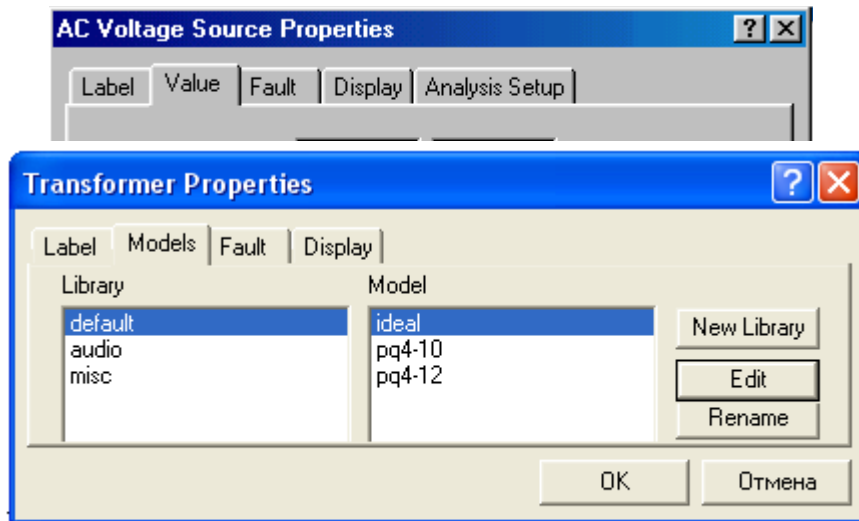


Рис. 4

умовному позначенні трансформатора Тр (рис. 2) і подвійним кліком лівої клавіші миші. Відкриється **Transformer Model 'ideal'** панель (рис. 4), на якій слід натиснути кнопку *Edit* лівою клавішею миші.

Відкриється панель (рис. 5), у віконці Primary-to-secondary turns ratio (N): , якої слід встановити величину, обернену коефіцієнту трансформації ($1/N$), тобто 30 та підтвердити це кнопкою ОК.

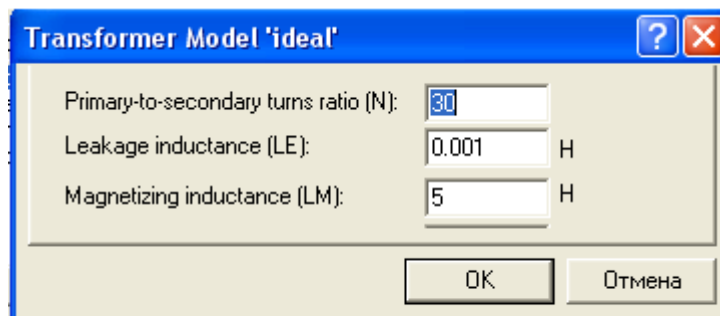


Рис. 5

4.1.5. Встановіть опір навантаження встановленням курсору на умовному позначенні R_n (рис. 2) і подвійним кліком лівої клавіші миші.

Відкриється панель (рис. 6), у віконці Resistance (R): 100 Ω якої необхідно встановити вимаганий опір навантаження та підтвердіть це кнопкою ОК.

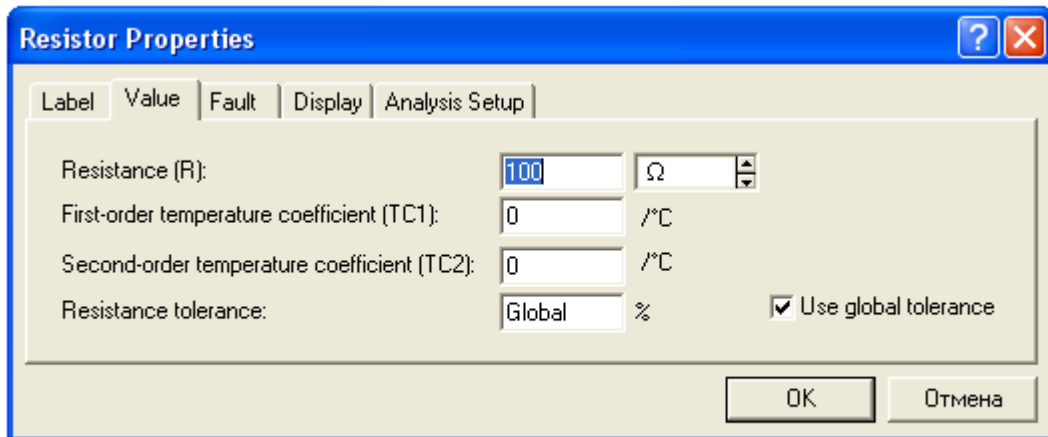


Рис. 6

4.2. Дослідіть вхідну та вихідну напруги й напругу на діоді

4.2.1. Увімкніть стенд встановленням курсора на  тумблер і кліком лівої клавіші миші.

4.2.2. Підімкніть канали А і В осцилографа відповідно до входу та виходу випрямляча переведенням перемикача П в положення $U_{\text{вих}}$ клавішею Space.

4.2.3. Розкрийте осцилограф встановленням курсору на його умовному позначенні “Осц” (рис. 2) і подвійним кліком лівої клавіші миші. На екрані будуть мерехтати два промені: чорний – для вхідної напруги і червоний – для вихідної (рис. 7).

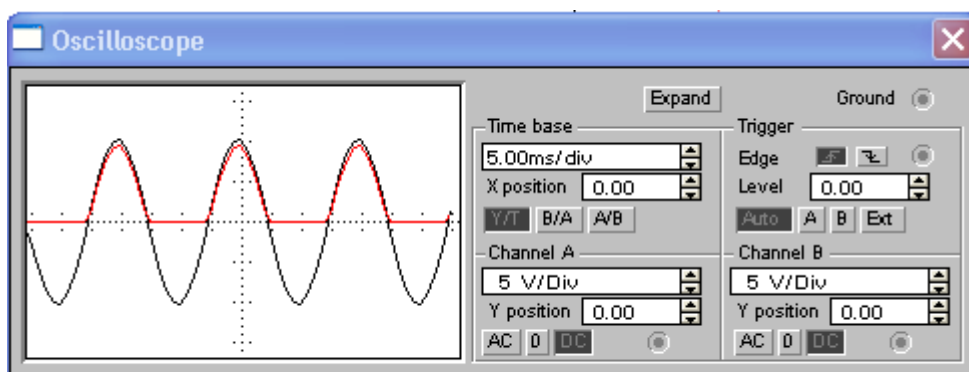


Рис. 7

4.2.4. Виміряйте амплітуди напруг вхідної $U_{\text{твх}}$, на діоді $U_{\text{тд}}$ та вихідної $U_{\text{твих}}$. Накресліть в **масштабі** часову діаграму роботи випрямляча, розміщуючи осцилограми **одна** під **другою** у такому порядку: $U_{\text{вх}}(t)$, $U_{\text{д}}(t)$, $U_{\text{вих}}(t)$.

Вимірювання амплітуд за п. 4.2.4 здійснюється наступним чином:

- зупиніть зображення клавішею *Pause*;
- збільшіть зображення клавішею *Expand* на осцилографі (рис. 7);
- розгорніть зображення на увесь екран горизонтальною прокруткою (рис. 8).

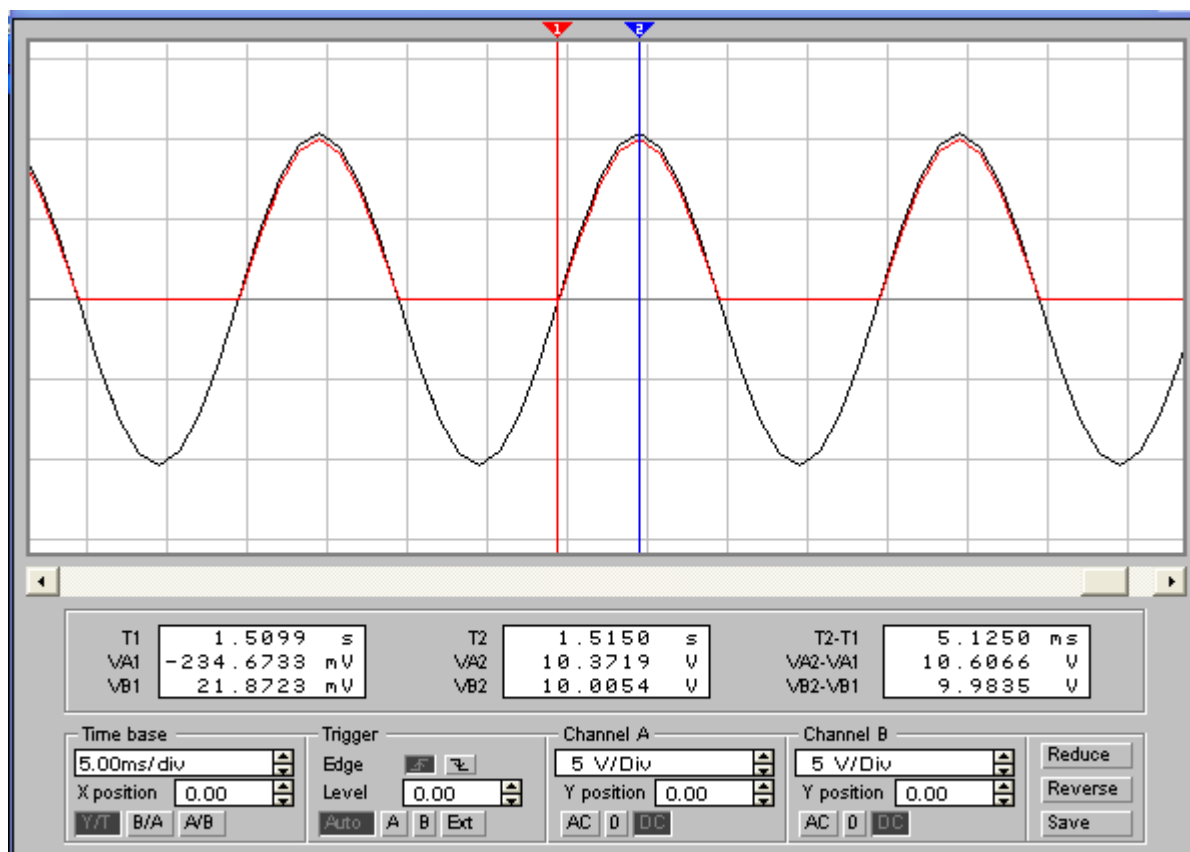


Рис. 8

Амплітуди $U_{m\text{вх}}$ і $U_{m\text{вих}}$ вимірюються на збільшеному екрані осцилографа встановленням маркерів 1 і 2 відповідно на амплітудне та нульове значення осцилограм (рис. 8).

Амплітуди напруг можна відрахувати у середньому віконці:

$$U_{m\text{вх}} = VA2,$$

$$U_{m\text{вих}} = VB2.$$

Для дослідження напруги на діоді слід підімкнути канал A осцилографа до діоді переведенням клавішею *Space* перемикача П у положення U_d . На збільшеному екрані з'явиться осцилограма напруги на діоді (рис. 9).

Встановленням маркерів 1 і 2 відповідно на нульовому та амплітудному значенні відрахувати амплітуду прямої напруги на діоді у середньому віконці:

$$U_{m\text{пр}} = VA2.$$

Для вимірювання зворотної напруги на діоді перемістіть маркер 2 на амплітудне значення негативної півхвилі та відрахуйте у середньому віконці

$$U_{m\text{зв}} = VA2.$$

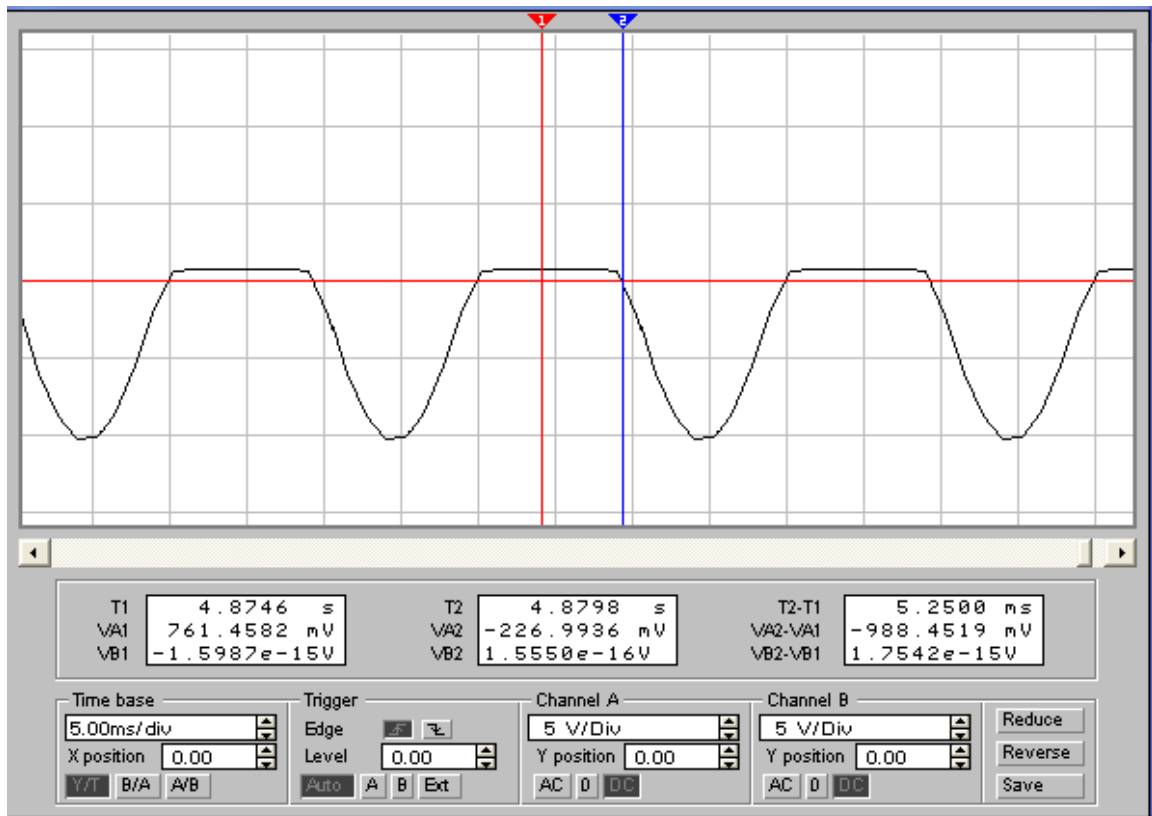


Рис. 9

4.2.5. Визначте абсолютні похибки як різниці між розрахованими та виміряними напругами

$$\delta = U_{m \text{ вим}} - U_{m \text{ розр}}$$

та відносні похибки

$$\Delta = \frac{U_{m \text{ розр}} - U_{m \text{ вим}}}{U_{m \text{ розр}}} * 100\%$$

4.2.6. Результати вимірювань занесіть до табл. 1.

Таблиця 1

Результати вимірювань

Величина	Розрах	Вимір.	δ , В	Δ , %
U_{m1} , В				
U_{m2} , В				
$U_{m \text{ вх}}$, В				
$U_{m \text{ вих}}$, В				
$U_{m \text{ пр}}$, В				
$U_{m \text{ обр}}$, В				

4.2.7. Зробіть висновки про відношення амплітуд:

- первинної і вторинної напруг;
- вторинної і вхідної напруг;
- вхідної і вихідної напруг;
- прямої і зворотної напруг.

4.2.8. Зробіть висновки про похибки вимірювань між виміряними та розрахованими величинами: $U_{m \text{ вх}}$, $U_{m \text{ вих}}$, $U_{m \text{ пр}}$ и $U_{m \text{ зв}}$.

4.2.9. Дослідіть вплив опору навантаження R_n на вихідну напругу, для чого виміряйте амплітуду вихідної напруги за п. 4.2.4 за опорів навантаження $R_{n1} = 50 \text{ Ом}$ і $R_{n2} = 5 \text{ Ом}$.

(Вимірювання опору здійснюється за методикою п. 4.1.5). Результати вимірювань занесіть до табл. 2.

4.2.10. Зробіть висновки про вплив опору навантаження на амплітуду вихідної напруги.

Т а б л и ц я 2

R_n , Ом	$U_{m \text{ вих.}}$ В
50	
5	

5. Зміст протоколу

5.1. Виконання домашнього завдання

- 5.1.1. Схема дослідження за п. 3.1.
- 5.1.2. Часова діаграма роботи за п. 3.2.
- 5.1.3. Розрахунки за п. 3.3, 3.4.
- 5.1.4. Форми табл. 1 і 2.

5.2. Виконання лабораторного завдання

- 5.2.1. Часова діаграма роботи за п. 4.2.4.
- 5.2.2. Табл. 1.
- 5.2.3. Висновки за п. 4.2.7 і 4.2.8.
- 5.2.4. Табл. 2.
- 5.2.5. Висновки за п. 4.2.10.

6. Контрольні запитання

- 6.1. Поясніть принцип дії однонапівперіодного випрямляча.
- 6.2. Назвіть параметри трансформатора.
- 6.3. Наведіть співвідношення амплітуд вхідної та вихідної напруг випрямляча.
- 6.4. Наведіть схеми випрямлячів для отримання додатної та від'ємної випрямленої напруги.
- 6.5. Поясніть, чому дорівнює пряма та зворотна напруги на діоді.

Рекомендована література

1. Панфилов И.П., Савицкая М.П., Флейта Ю.В. Компонентная база радио-электронной аппаратуры: Учебное пособие, Модуль 1. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2012. – 180 с.
2. Воробьева Е.М., Иванченко В.Д. Основы схемотехники: конспект лекций. Ч.1. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2011. – С. 41 – 44.
3. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: підручник / О.М. Воробйова, В.Д. Иванченко – [2-е вид.]. – Одеса: Фенікс, 2009. – С. 41 – 44.
4. Воробйова О.М. Основы схемотехніки: У 2-х частинах: навч. посіб. / О.М. Воробйова, В.Д. Иванченко. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова. 2004. – Частина I. – С. 26 – 34.

Лабораторна робота № Ф 2

Дослідження розгалужених з'єднань

1. Мета роботи

Після виконання роботи студент повинен уміти:

- 1.1. Скласти схеми дослідження симетричного та несиметричного розгалужених з'єднань.
- 1.2. Досліджувати симетричні та несиметричні розгалужені з'єднання.
- 1.3. Визначати логічні рівні спрацювання розгалужених з'єднань.

2. Ключові положення

Розгалужені з'єднання (рис. 1) є плавним перемикачем струму із одного кола $VD1$ в інше $VD2$ (рис. 2).

Для здійснення цього перемикання розгалужені з'єднання (РЗ) повинні живитися незмінним струмом $I_0 = \text{const}$.

РЗ бувають симетричними (рис. 2) й несиметричними (рис. 3).

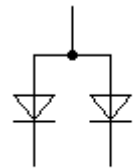


Рис. 1

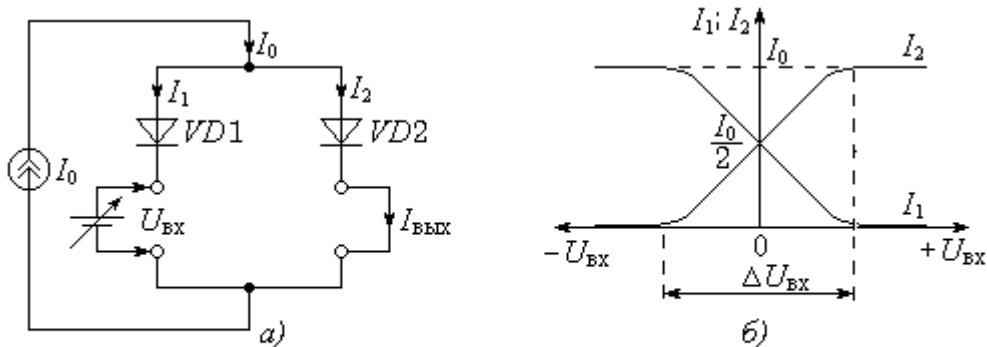


Рис. 2. Симметричное разветвляющее соединение:
а — схема, б — ВХ

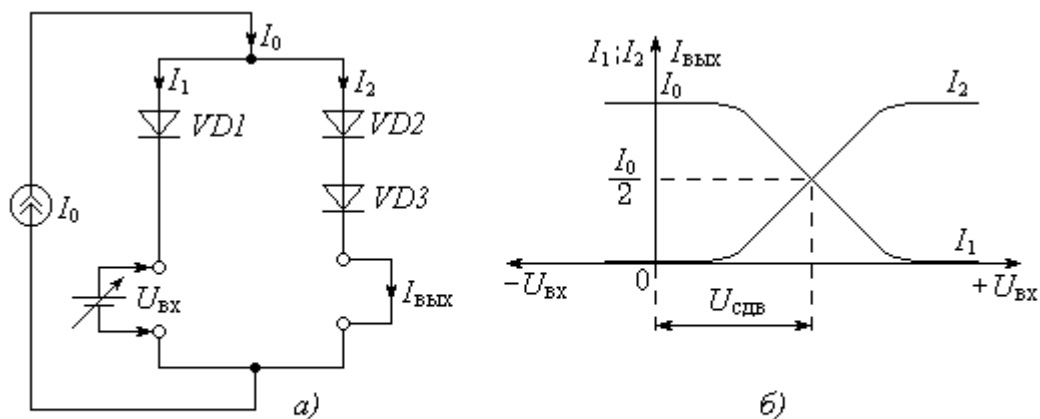


Рис. 3. Несимметричное разветвляющее соединение:
а — схема, б — ВХ

Несиметричність у схемі рис. 3 створює третій діод $VD3$. Через нього точка перекомутації зміщується на U_{3M} від напруги $U_{BX} = 0$.

Із діаграм роботи РЗ, які наведені на рис. 4, видно, що *симетричне* РЗ сприймає будь-які слабкі сигнали (рис. 4,а), тому що за будь-якої амплітуди U_{mBX1} є зміна струмів $\Delta I > 0$, а *несиметричне* РЗ на ту саму амплітуду U_{mBX1} не реагує, тобто $\Delta I = 0$ (рис. 4,б).

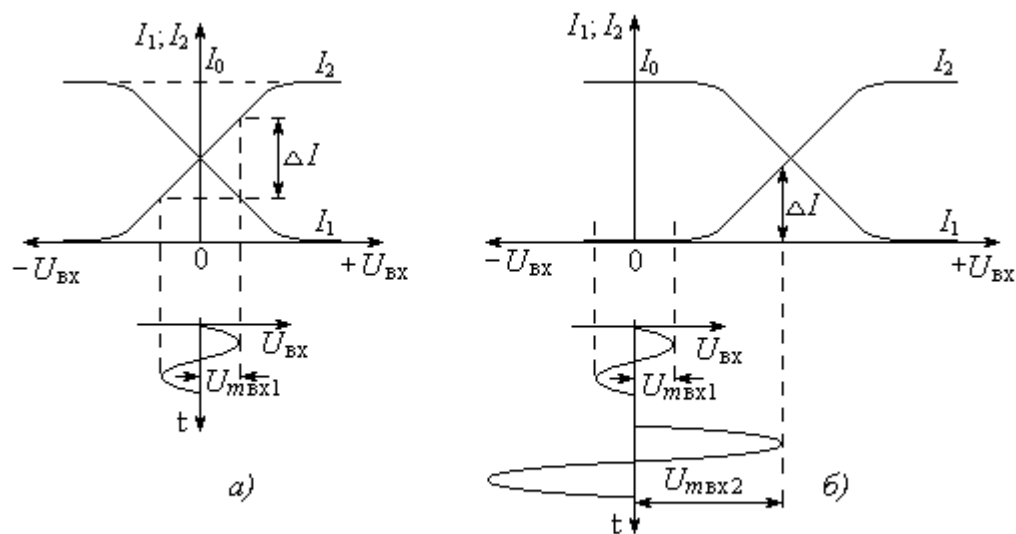


Рис. 4. Діаграми роботи РЗ: а – симетричного; б – несиметричного

Щоб з'явилась зміна струмів $\Delta I > 0$, необхідно збільшити амплітуди вхідної напруги до U_{mBX2} .

Оскільки несиметричне РЗ не сприймає малі напруги, то воно забезпечує певну завадостійкість.

Таким чином, симетричне РЗ слід використовувати в аналогових схемах, зокрема у підсилювачах, де сигнали слабкі, а несиметричне – у цифрових схемах, де сигнали тільки сильні.

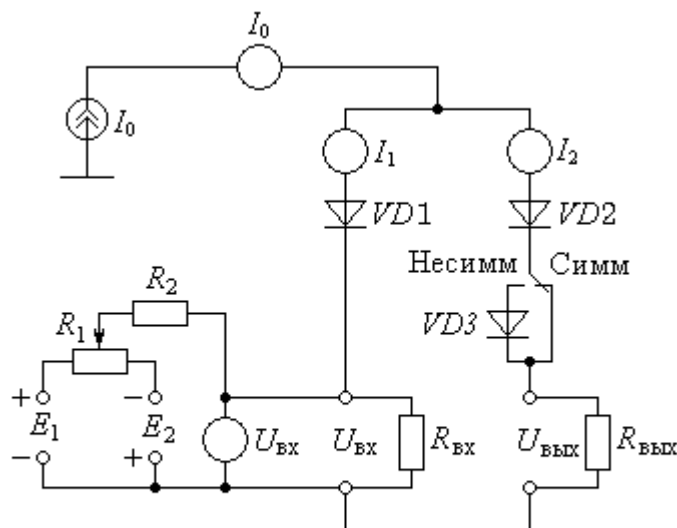


Рис. 5. Схема исследования разветвляющего соединения в статике

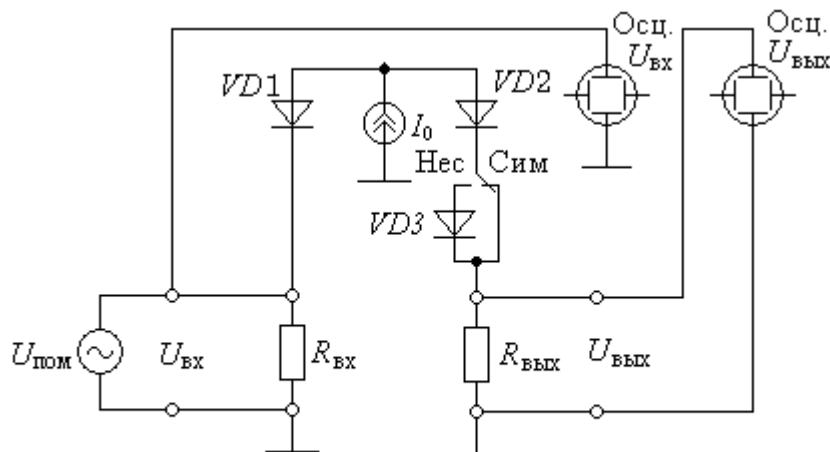


Рис. 6. Схема исследования разветвляющего соединения в динамике

На рис. 5 і 6 наведено схеми дослідження розгалужуючого з'єднання у статиці та динаміці. Вони дозволяють дослідити симетричне РЗ у положенні перемикача „Сим” і несиметричне РЗ у положенні „Нес”.

3. Домашнє завдання

3.1. Складіть схеми дослідження симетричного та несиметричного розгалужуючих з'єднань у статиці та динаміці.

3.2. Наведіть очікувані діаграми роботи симетричного й несиметричного розгалужуючих з'єднань.

3.3. Порівняйте складені схеми зі схемами лабораторних стендів, які наведені у лабораторному завданні, та знайдіть на стендах всі елементи схем.

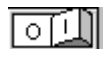
3.4. Заготуйте форми табл. 1 і 2.

3.5. Підготуйте відповіді на контрольні запитання.

4. Лабораторне завдання

4.1. Налаштуйте стенд

4.1.1. Відкрийте файл “№ Ф2.1 Розгал. стат.” (рис. 7).

4.1.2. Увімкніть стенд встановленням курсору на тумблер  і кліком лівої клавіші миші.

4.2. Зніміть ВАХ симетричного розгалужуючого з'єднання

4.2.1. Виконайте симетричне з'єднання переведенням перемикача у положення „Симметр” клавішею *Space* (рис. 7).

4.2.2. Зніміть ВАХ симетричного РЗ, змінюючи вхідну напругу U_{BX} резистором R (клавіша R), вимірюючи U_{BX} , I_1 , I_2 та відкладаючи їх значення безпосередньо на графік за формою рис. 2. (Заповнення будь-яких таблиць, навіть чорнових, не допускається); натиснення клавіші R зменшує U_{BX} , а одночасне натиснення клавіш R і *Shift* збільшує її.

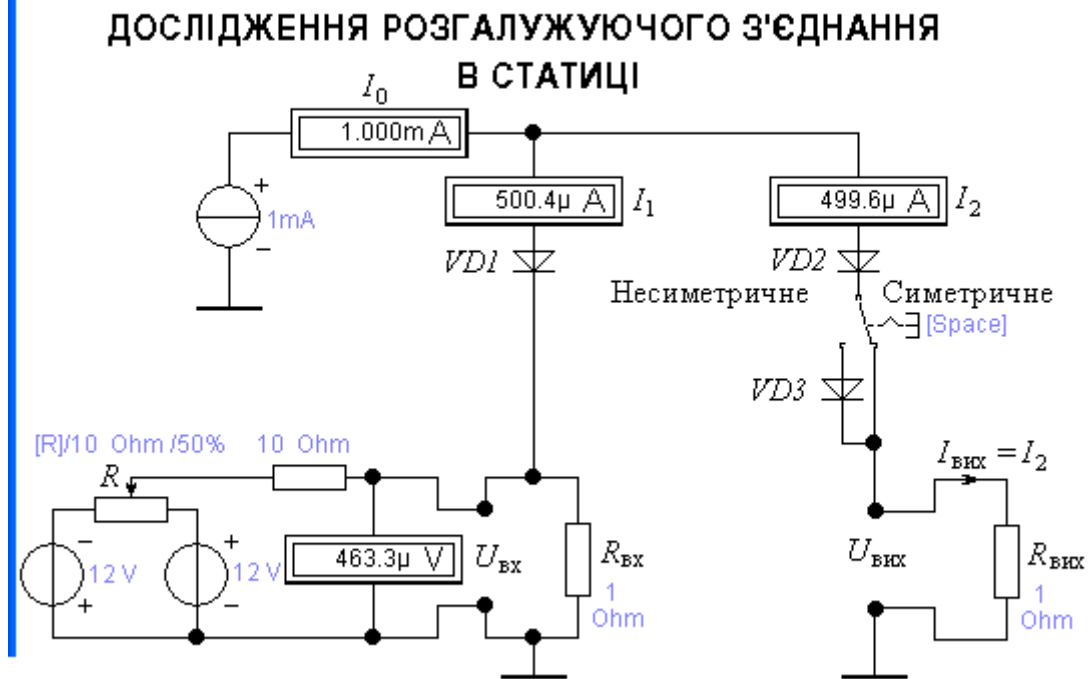


Рис. 7. Схема лабораторного стенда

4.3. Зніміть ВАХ несиметричного розгалужуючого з'єднання

4.3.1. Підімкніть третій діод $VD3$ переведенням перемикача у положення „Несиметричне” клавішею *Spase* (рис. 7) й повторіть маніпуляції за п. 4.2.2 для несиметричного РЗ.

4.3.2. Визначте для обох схем напругу перекомутації $\Delta U_{вх}$ (рис. 2) і напругу зміщення $U_{зм}$ (рис. 3). Результати вимірювань занесіть до табл. 1.

Таблиця 1

Параметр	З'єднання	
	Симетр.	Несиметр.
$\Delta U_{вх}$		
$U_{зм}$		

4.3.3. Зробіть висновки про:

- співвідношення $\Delta U_{вх}$ і прямої напруги діода;
- співвідношення напруги зміщення $U_{зм}$ і прямої напруги діода.

4.4. Дослідіть завадостійкість симетричного і несиметричного розгалужуючих з'єднань

4.4.1. Відкрийте файл „№ Ф2.2 Розгал. дин.” (рис. 8).

4.4.2. Увімкніть стенд встановленням курсору на тумблер  і кліком лівої клавіші миші.

4.4.3. Розкрийте генератор завади $U_{зав}$ і осцилограф „Осц. $U_{зав}$ ” встановленням курсору на їх позначенні та подвійним кліком лівої клавіші миші.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗГАЛУЖУЮЧОГО З'ЄДНАННЯ В ДИНАМІЦІ

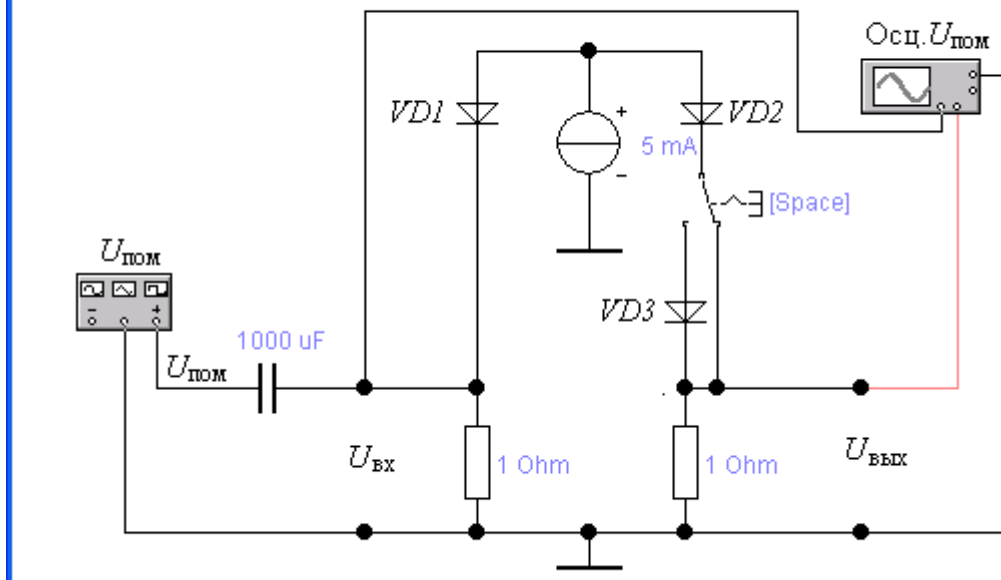


Рис. 8. Схема лабораторного стенда

На екрані осцилографа будуть мерехтіти два промені: чорний для вхідного сигналу і червоний – для вихідного.

4.4.4. Визначте мінімальну амплітуду напруги завади $U_{зав}$, яку сприймає симетричне з'єднання, наступними діями:

- увімкніть симетричне розгалужуюче з'єднання клавішею *Spase* (праве положення);

- у віконці Frequency 1 kHz (рис. 9) встановіть розмірність *KHz* і частоту вхідної напруги 1 *KHz*;

- у віконці Amplitude 30 mV встановіть розмірність *mV* і таку мінімальну амплітуду напруги завади $U_{зав}$, за якої на екрані з'явиться помітна вихідна напруга;

- результати вимірювань занесіть до табл. 2.

2.

4.4.5. Увімкніть несиметричне розгалужуюче з'єднання підімкненням третього діода клавішею *Spase* (ліве положення) та повторіть маніпуляції за п. 4.4.4. Результати вимірювань занесіть до табл. 2.

4.4.6. Зробіть висновки про співвідношення мінімальних амплітуд напруги завад, до яких чутливе симетричне та несиметричне розгалужуюче з'єднання.

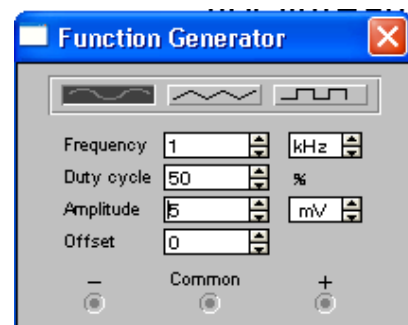


Рис 9

Т а б л и ц я 2

Параметр	З'єднання	
	Сим.	Несим.
$U_{зав}, \text{ мВ}$		

5. Зміст протоколу

5.1. Виконання домашнього завдання

5.1.1. Схеми дослідження за п. 3.1.

5.1.2. Очікувані діаграми роботи за п. 3.2.

5.1.3. Форми табл. 1 і 2.

5.2. Виконання лабораторного завдання

5.2.1. ВАХ за п. 4.2.2 і 4.3.1.

5.2.2. Табл. 1.

5.2.3. Висновки за п. 4.3.3.

5.2.4. Табл. 2.

5.2.5. Висновки за п. 4.4.6.

6. Контрольні запитання

6.1. Назвіть функції, які виконують розгалужуючі з'єднання.

6.2. Наведіть схеми симетричного і несиметричного розгалужуючих з'єднань.

6.3. Наведіть діаграми роботи симетричного і несиметричного розгалужуючих з'єднань.

6.4. Охарактеризуйте завадостійкість симетричного і несиметричного розгалужуючих з'єднань.

Рекомендована література

1. Воробьева Е.М., Иванченко В.Д. Основы схемотехники: конспект лекций. Ч.1. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2011. – С. 124 – 126.

2. Воробйова О.М. Основы схемотехники: підручник / О.М. Воробйова, В.Д. Иванченко. – [2-е вид.]. – Одеса: Фенікс, 2009. – С. 124 – 126.

3. Воробйова О.М. Основы схемотехники: У 2-х частинах: навч. посіб. / О.М. Воробйова, В.Д. Иванченко. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова. 2004. – Частина I. – С. 138 – 140.

Лабораторна робота №Ф 3

Дослідження триелектродної лампи

1. Мета роботи

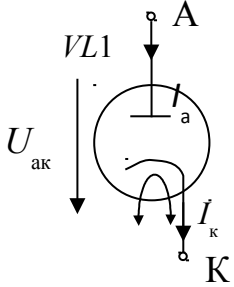
1. Вивчити будову та принцип дії триелектродної лампи.
2. Дослідити статичні характеристики та вивчити методику визначення статичних параметрів.

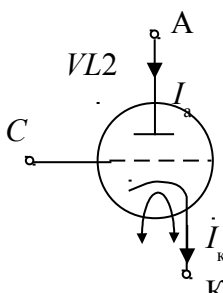
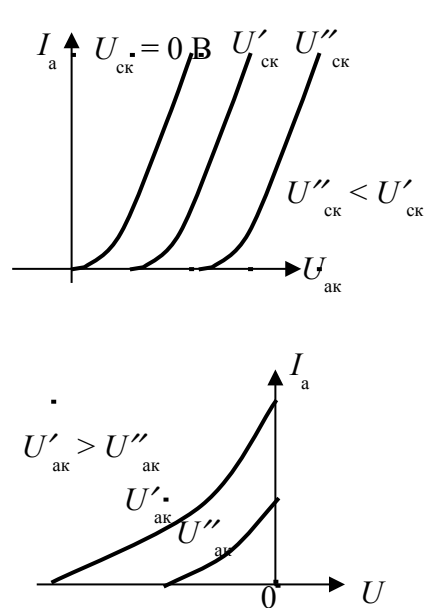
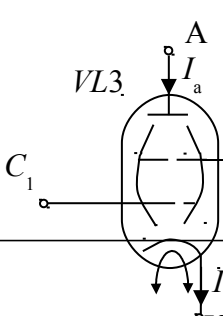
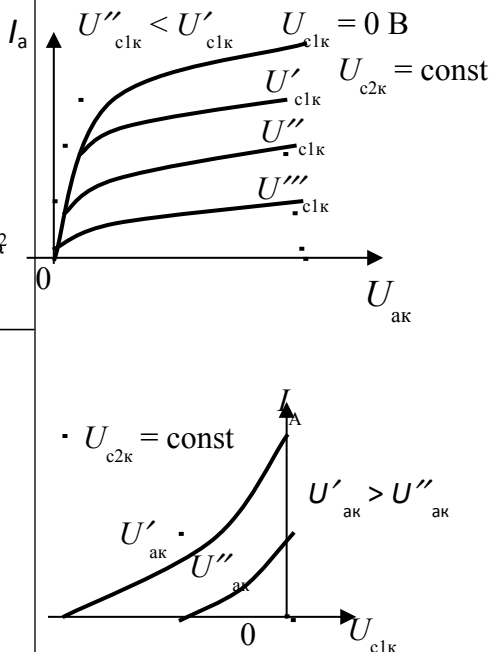
2. Ключові положення

В електронних лампах управління рухом електронів, емітованих катодом, здійснюється за допомогою електричних полів. Для створення електричних полів до електродів підключають зовнішні джерела напруги. Значення напруг на електродах та струми в їх колах визначають електричний режим роботи лампи. В технічних умовах зазначають номінальний та граничний режими роботи лампи. *Номінальний режим* характеризує умови роботи, на які розрахований даний пристрій. *Граничний режим* визначає максимально або мінімально припустимі значення параметрів режиму.

В залежності від числа електродів розрізняють двоелектродні лампи – *діоди*, триелектродні лампи – *тріоди*, чотириелектродні лампи – *тетроди*, п'ятиелектродні лампи – *пентоди* та інші багатосіткові лампи. Для ефективної емісії електронів катодом електронна лампа кожного типу має також коло нагрівання для підігріву катода. В табл. 1 наведено умовні позначення та ВАХ електронних ламп.

Таблиця 1

Електронні лампи			
№ з/п	Найменування	Умовне позначення	Вольт-амперні характеристики
1	Діод		

2	Тріод		
3	Променевий тетрод		Характеристики однакові у променевого тетрода й пентода 
4	Пентод		

У тріоді між анодом й катодом розташований управляльний електрод – *сітка C*. За наявності сітки число електронів, які попадають на анод, а, отже, й анодний струм залежать не тільки від величини анодної напруги, але і від величини та полярності напруги між сіткою й катодом. Змінюючи потенціал сітки, можна управляти анодним струмом. Тому сітка у тріоді називається *управляльною*. Умовне позначення тріода та його ВАХ наведено в табл. 1.

Сітку розміщують поблизу катода, завдяки цьому напруга U_{ck} значно впливає на анодний струм, ніж напруга U_{ak} . Це видно зі статичних характеристик тріода: вихідних (анодних) $I_a = f(U_{ak})$ за $U_{ck} = \text{const}$ та передатних (анодно-сіткових) $I_a = f(U_{ck})$ за $U_{ak} = \text{const}$. За додатної напруги на управляльний сітці

електронні лампи використовують рідко, так як при цьому виникає сітковий струм і вхідний опір лампи різко зменшується.

Таким чином, за допомогою зміни невеликої напруги $U_{ск}$ можна управляти значними змінами анодного струму I_a . Ця властивість тріода дозволяє його використовувати в якості підсилювального елемента.

Катод, сітка й анод аналогічні відповідно емітеру, базі й колектору біполярного транзистора або витоку, затвору та стоку польового транзистора.

Основний та корисний струм в тріоді – анодний струм I_a . За від'ємної напруги сітка–катод струм сітки дорівнює нулю ($I_c = 0$), вхідний опір тріода буде дуже великим, можна вважати $R_{вх} \rightarrow \infty$. У цьому випадку $I_a = I_k$. З додатною напругою сітка–катод $U_{ск}$ працюють лише *генераторні* та *імпульсні тріоди*.

Граничні експлуатаційні дані тріода:

- 1) максимально припустима постійна потужність розсіювання на аноді – $P_{a \text{ макс}}$;
- 2) максимально припустима анодна напруга – $U_{ак \text{ макс}}$;
- 3) максимально припустимий анодний струм – $I_{a \text{ макс}}$.

Крім того зазначається напруга накаливання U_n й струм накаливання I_n .

Схема дослідження тріода наведена на рис. 1.

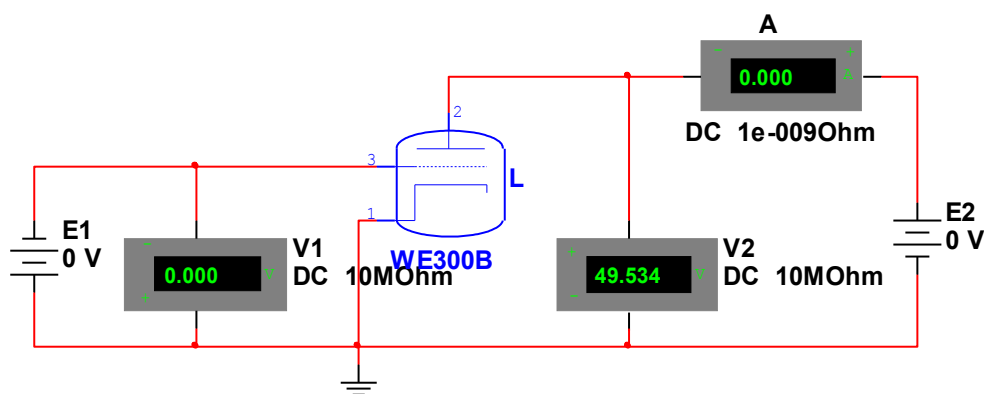


Рис. 1

3. Домашнє завдання

3.1. Вивчіть згідно з рекомендованою літературою будову, принцип дії, основні параметри та характеристики тріода.

3.2. Складіть схему дослідження тріода для зняття статичних характеристик.

3.3. Наведіть очікувані ВАХ тріода.

3.4. Наведіть формули для графоаналітичного розрахунку параметрів тріода.

3.5. Заготуйте й оцифруйте осі координат для анодних та анодно-сіткових характеристик тріода так, щоб площа графіка була б не менше половини сторінки зошита. Дозволені масштаби: 1; 2; 4; 5; 10; 20 й т.д.

3.6. Підготуйте відповіді на контрольні запитання.

4. Лабораторне завдання

4.1. Відкрийте файл „№ Ф3 Триод”.

4.2. Увімкніть стенд встановленням курсору на тумблер  і кліком лівої клавіші миші.

4.3. Порівняйте складену схему дослідження з лабораторним макетом і знайдіть в ньому джерела живлення та вимірювальні прилади.

4.4. Зніміть та побудуйте статичні анодні характеристики тріода $I_a = f(U_a)$ за $U_c = 0, -1, -2$ В.

4.5. Зніміть та побудуйте статичні анодно-сіткові характеристики тріода $I_a = f(U_c)$ за $U_a = 80, 100$ В.

4.6. На анодних ВАХ побудуйте навантажувальну пряму за $R_n = 10$ кОм (індивідуально кожному члену бригади): 1 – $E_a = 130$ В, 2 – $E_a = 140$ В, 3 – $E_a = 150$ В. Знайдіть точку А **пересечения** навантажувальної прямої з анодною характеристикою, знятою за $U_c = -1$ В.

4.7. У точці А визначте статичні параметри тріода.

5. Зміст протоколу

5.1. Виконання домашнього завдання

5.1.1. Схема дослідження за п. 3.2.

5.1.2. Очікувані ВАХ за п. 3.3.

5.1.3. Формули за п. 3.4.

5.1.4. Осі координат за п. 3.5.

5.2. Виконання лабораторного завдання

5.2.1. Зняті ВАХ за п. 4.4 і 4.5.

5.2.2. Розраховані параметри за п. 4.7.

6. Контрольні запитання

6.1. Поясніть конструкцію тріода.

6.2. Накресліть сімейство анодних характеристик тріода та поясніть їх хід.

6.3. Накресліть сімейство анодно-сіткових характеристик тріода та поясніть їх хід.

6.4. Поясніть методику визначення статичних параметрів за анодними характеристиками.

6.5. Поясніть методику визначення статичних параметрів за анодно-сітковими характеристиками.

Рекомендована література

1. Панфилов И.П., Савицкая М.П., Флейта Ю.В. Компонентная база радиоэлектронной аппаратуры: Учебное пособие, Модуль 1. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2012. – 180 с.

2. Воробйова О.М. Основи схемотехніки: підручник / О.М. Воробйова, В.Д. Іванченко – [2-е вид.]. – Одеса: Фенікс, 2009. – С. 62 – 69.

3. Воробйова О.М. Основи схемотехніки: У 2-х частинах: навч. посіб. / О.М. Воробйова, В.Д. Іванченко. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова. 2004. – Частина I. – С. 45 – 50.
4. Батушев В.А. Электронные приборы. – М.: Высшая школа, 1980. – 383 с.
5. Дулин В.Н. Электронные приборы. – М.: Энергия, 1977. – 424 с.

ЗМІСТ

Лабораторна робота №1.1	
Дослідження резистивних дільників та регуляторів напруги.....	
Лабораторна робота №1.2	
Дослідження напівпровідникових діодів.....	
Лабораторна робота №1.3	
Дослідження біполярного транзистора.....	
Лабораторна робота №1.4	
Дослідження підсилювача на біполярному транзисторі	
Лабораторна робота №1.5	
Дослідження тиристорів.....	
Лабораторна робота №2.1	
Дослідження диференціальних каскадів.....	
Лабораторна робота №2.2	
Дослідження каскадів на операційних підсилювачах.....	
Лабораторна робота №2.3	
Дослідження транзисторного ключа.....	
Лабораторна робота №2.4	
Дослідження логічних елементів.....	
Лабораторна робота №2.5	
Дослідження елементів оптоелектронних мікросхем.....	
<i>Факультативні роботи</i>	
Лабораторна робота №Ф1	
Дослідження діодних схем.....	
Лабораторна робота №Ф2	
Дослідження розгалужуючи з'єднань.....	
Лабораторна робота №Ф3	
Дослідження триелектродної лампи.....	

Навчально-методичне видання

Воробйова Олена Михайлівна
Панфілов Іван Павлович
Савицька Маргарита Павлівна
Флейта Юрій Вікторович

Лабораторний практикум з курсу
«Компонентна база радіоелектронної апаратури»

Методичні вказівки